

ANALYSIS OF INJURIES IN AIRCRAFT ACCIDENT VICTIMS IN 2002–2022 BASED ON THE RESOURCES OF THE JAGIELLONIAN UNIVERSITY DEPARTMENT OF FORENSIC MEDICINE IN KRAKÓW

Piotr JUDA¹ , Dawid PAJOR¹ , Łukasz WÓJCIK¹ , Anna KACZMARSKA¹ ,
Milena NOWAK¹ , Tomasz KONOPKA² 

¹ *Students' Scientific Group of Forensic Medicine, Jagiellonian University Medical College, Kraków, Poland*

² *Department of Forensic Medicine, Jagiellonian University Medical College, Kraków, Poland*

Abstract

Aim: The study aimed to analyse the most common injuries of victims of aviation accidents and compare it with the most recent literature.

Methods and materials: Retrospective analysis of autopsy protocols of aircraft crash victims from the Forensic Medicine Department from years 2002–2022. The case selection has been made by two independent researchers. After applying the exclusion criteria 27 cases were obtained. Further searched for features that the bodies of victims had in common. There were analysed sex, age, circumstances of the incident, injuries, presence of psychoactive substances (alcohol, drugs), and blood concentration of carboxyhemoglobin.

Results: Among 27 cases we found 19 airplane crashes, 4 glider accidents, 3 motor glider accidents, and one helicopter crash. The 1 case had no information about the type of aircraft. The injuries that emerged in each of the victims were typical results of direct impact forces. The most common were rupture of the lungs 63.0 % (n = 17/27), heart 55.6% (n = 15/27), liver 51.9% (n = 14/27), aorta 40.7% (n = 11/27) and spleen 29.6% (n = 8/27). Common bone traumas included fractures of the ribs 77.8% (n = 21/27) upper limbs 77.8% (n = 21/27), skull 74.1% (n = 20/27), pelvis 59.3% (n = 16/27) and spine 51.9% (n = 14/27). Injuries of the cervical spine occurred in victims who violently tilted their heads back.

Conclusions: In most cases, the immediate cause of death was extensive multi-organ injuries, followed by thermal burns or brain injuries. In almost half of the victims, the presence of carboxyhemoglobin in the blood indicates that they were alive during the crashes. Knowledge of injury patterns can improve aviation safety and guide in reconstructing the mechanisms and sequences of the accidents.

Keywords

Aircraft crashes autopsy; Forensic medicine; Injury analysis; Aircraft crash victims.

Received 1 December 2023; accepted 10 January 2024

Introduction

Aircraft accidents constitute a particular group of transport incidents. While they are relatively rare, their consequences are exceptionally tragic. Aircraft accidents usually result in multiple injuries, caused

by mechanical, thermal and chemical factors (Payne-James, Jones, 2019). Autopsies of the victims should be aimed at identifying the type of aircraft involved in an accident and its correlation with the presence of specific injuries. Consequently, aircraft accidents can be divided according to the type of aircraft: gliders,

hang gliders, motor hang gliders, paragliders, balloons, ultralight aircraft, light aircraft and helicopters, parachutes (not addressed in this study), and lastly, small and large passenger aircraft (Teresiński, 2019). Eurostat has reported that across the EU in 2022, as many as 147 people died in aircraft accidents, of which 83% involved aircraft with a low take-off weight (less than 2250 kg), i.e. gliders, paragliders, powered sailplanes, and small helicopters and airplanes. Out of the 147 deaths, 7 took place in Poland, which ranks the country 5th among the 27 EU member states (Eurostat, 2023). The types of injuries that are sustained depend on how an aircraft is moving at the time. When a plane crashes to the ground at a low angle during landing, the bodies of the pilots and passengers are propelled towards the control panel, which results in injuries similar to those sustained by the drivers and passengers of cars involved in head-on collisions. Helicopter crashes, airplanes breaking apart during flight and accidents involving cockpit-less aircraft cause injuries similar to a fall from height. Victims also sustain injuries due to high temperatures, as well as dismemberment resulting from a high impact velocity (Payne-James, Jones, 2019). In light of these findings, the aim of this study was to summarise the data collected by the Jagiellonian University Department of Forensic Medicine in Kraków, Poland, and compare it with the most common injuries observed among the studied victims, as well as to compare the acquired information with the latest publications concerning aircraft accidents, especially with respect to light aviation.

Material and methods

The study involved analysing the autopsy protocols available at the Jagiellonian University Department of Forensic Medicine. All the autopsy protocols from 2002–2022 were analysed. Those protocols in which an aircraft accident was the direct cause of death were selected for further analysis. The protocols were selected by two independent persons and their choices overlapped. Initially, 46 cases of death due to an aircraft accident were identified, of which 27 were selected for further analysis, while the remaining 19 were excluded due to the following reasons: exhumation (13 cases); the body being stored at the Department without performing an autopsy (2 cases); incomplete remains (2 cases); and the nature of the accident, i.e. a motorcycle driver crashing with a glider on the airport runway (1 case). Some of the autopsy protocols collected by the Department were not available for review – specifically, the protocols concerning the

victims of the Smolensk air disaster – while in a few other protocols, only human remains (bones) were described, namely, Gen. Władysław Sikorski, Gen. Tadeusz Klimecki, Lt. Józef Ponikiewski and Col. Andrzej Marecki (in the Gibraltar disaster). The exhumation reports did not provide complete information about the injuries sustained at the time of the accident. The 27 cases included in the study were analysed for: sex, age, circumstances of the accident, injuries, presence of psychoactive substances in the deceased (alcohol and narcotics), and blood carboxyhaemoglobin.

Results

The study included 27 persons: 22 men (81.5%) and 5 women (18.5%). The mean age of the accident victims was 40.3 years (SD 17.0). The most common accidents involved airplanes, constituting 70.4% of all accidents, followed by gliders with 14.8%. Motor hang glider and helicopter accidents accounted for 11.1% and 3.7% of all incidents, respectively.

Two victims were under the influence of alcohol (that did not result from post-mortem alcohol generation), with a 2.0‰ blood alcohol content and 2.9‰ urine alcohol content, and a 0.9‰ blood alcohol content and 1.4‰ urine alcohol content, respectively. The presence of alcohol generated by decomposition and fermentation was observed in 12 persons. A decreased carboxyhaemoglobin level, with a mean of 20% (SD 8.0), was found in 11 victims. The presence of carboxyhaemoglobin was only observed in the pilots and passengers of motor aircraft.

The most common direct cause of death was multi-organ injuries (74.1%); in addition, 14.8% ($n = 4/27$) of the victims died due to thermal burns, 7.4% ($n = 2/27$) due to craniocerebral trauma and 3.7% ($n = 1/27$) due to a spinal cord injury in the cervical section.

See Table 1 for an overview of the cases. The most common injuries sustained by the victims were lung injury 63.0% ($n = 17/27$), heart injury 55.6% ($n = 15/27$), liver injury 51.9% ($n = 14/27$), aortic injury 40.7% ($n = 11/27$) and spleen injury 29.6% ($n = 8/27$). The most common fractures were fractures of the ribs 77.8% ($n = 21/27$); upper limbs 77.8% ($n = 21/27$); skull 74.1% ($n = 20/27$); pelvis 59.3% ($n = 16/27$); spine 51.9% ($n = 15/27$); specifically, cervical – 11.1% ($n = 3/27$) and thoracic – 37.0% ($n = 10/27$) and lumbar – 7.4% ($n = 2/27$); tibia 44.4% ($n = 12/27$); and femur 44.4% ($n = 12/27$). There were two cases of dismemberment: one of the head and the other of the upper limb.

Figure 1 shows a chart of the most common injuries in the aircraft accident victims. Injuries due to high temperatures were only observed in accidents involving motor aircraft. Thermal injuries were found

in 40.7% (n = 11/27) of all the assessed individuals and 47.8% (n = 11/23) in the individuals who travelled with a motor aircraft, most often in the form of complete or nearly complete charring, although this was usually not the direct cause of death.

Table 1
Case characteristic

Characteristic		Male (n = 22)	Female (n = 5)	Total (n = 27)
Age (yr) ¹		44.455 ± 15.005	21.8 ± 9.806	40.259 ± 16.695
Vehicle type	Aircraft	14	5	19
	Glider	4	–	4
	Motor glider	3	–	3
	Helicopter	1	–	1
Presence of psychoactive substances	N/A	12	3	15
	Presence of ethyl alcohol indicating consumption	2	–	2
	Presence of ethyl alcohol, the presence of which may be associated with post-mortem putrefactive-fermentative processes	8	2	10
Presence of carboxyhemoglobin (average concentration) ¹		8 (19.875% ± 6.972%)	3 (11,667% ± 5.907%)	11 (17.636% ± 7.631%)
Presence of hydrogen cyanide		3	1	4
Cause of death	Polytrauma	17	3	20
	Head and brain injuries	–	2	2
	Spinal injuries	1	–	1
	High temperature and carbonization (fire)	4	–	4

¹ arithmetic mean ± SD

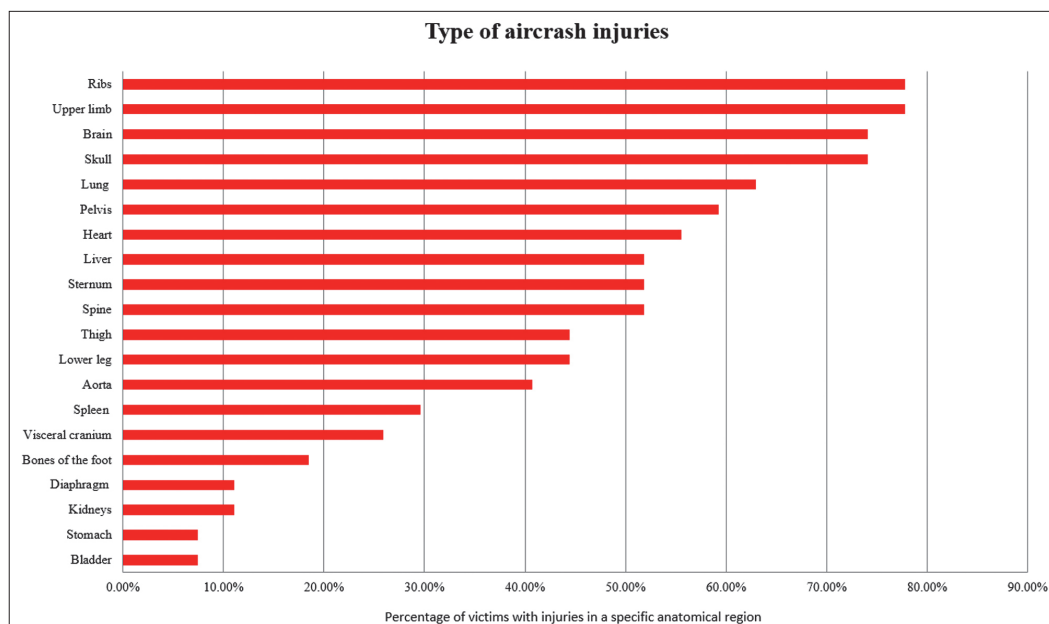


Fig. 1. Type of aircraft injuries.

The characteristics of the injuries indicated that in some cases, the prevalence of each injury differed depending on the type of aircraft. In particular, spinal injuries were more common in glider (75.0%, n = 3/4) and motorglider passengers (100.0%, n = 3/3) than in airplane passengers (36.8%, n = 7/19). Aortic ruptures were more common in glider (75.0%, n = 3/4) than in airplane (31.6%, n = 6/19) and motorglider victims (33.3%, n = 1/3), whereas thermal injuries were more common in airplane (52.6%, n = 10/19) than in motorglider victims (33.3%, n = 1/3). However, it is worth noting that the analysis showed a significant disparity between the number of airplane (70.4%, n = 19/27), glider (14.8%, n = 4/27) and motorglider victims (11.1%, n = 3/27). The studied sample only contained

27 cases, which directly affected the representativeness of the data (where a single incident significantly contributed to the percentage value). Consequently, it was difficult to compare the smaller groups (glider and motorglider victims) with the larger ones (airplane victims), in which the likelihood of a random error was considerably lower.

Table 2 presents all the injuries observed during autopsies, according to the vehicle.

The analysed cases included three 14-year-old girls (after the crash of a Cessna T182T from the Kraków Aviation Club followed by the explosion of the fuel tanks). Two of the girls died due to craniocerebral trauma, while the third died due to multiple organ trauma. Furthermore, all three girls had thermal injuries.

Table 2
Type of aircraft injuries by mode of transport

Type of aircraft injuries		Aircraft (n = 19)	Glider (n = 4)	Motor glider (n = 3)	Helicopter (n = 1)	Total (n = 27)
Head	Skull	15 (78.95%)	3 (75.00%)	1 (33.33%)	1 (100.00%)	20 (74.07%)
	Visceral cranium	5 (26.32%)	2 (50.00%)	–	–	7 (25.93%)
	Brain	14 (73.68%)	3 (75.00%)	2 (66.67%)	1 (100.00%)	20 (74.07%)
Upper limb		14 (73.68%)	4 (100.00%)	3 (100.00%)	–	21 (77.78%)
Thorax	Spine	7 (36.84%)	3 (75.00%)	3 (100.00%)	1 (100.00%)	14 (51.85%)
	Ribs	14 (73.68%)	4 (100.00%)	2 (66.67%)	1 (100.00%)	21 (77.78%)
	Sternum	9 (47.37%)	3 (75.00%)	2 (66.67%)	–	14 (51.85%)
	Lung	12 (63.16%)	3 (75.00%)	1 (33.33%)	1 (100.00%)	17 (62.96%)
	Heart	11 (57.89%)	2 (50.00%)	1 (33.33%)	1 (100.00%)	15 (55.56%)
	Aorta	6 (31.58%)	3 (75.00%)	1 (33.33%)	1 (100.00%)	11 (40.74%)
	Diaphragm	1 (5.26%)	1 (25.00%)	–	1 (100.00%)	3 (11.11%)
Stomach	Liver	9 (47.37%)	2 (50.00%)	2 (66.67%)	1 (100.00%)	14 (51.85%)
	Spleen	7 (36.84%)	1 (25.00%)	–	–	8 (29.63%)
	Stomach	1 (5.26%)	1 (25.00%)	–	–	2 (7.41%)
	Kidneys	2 (10.53%)	1 (25.00%)	–	–	3 (11.11%)
	Bladder	1 (5.26%)	–	–	1 (100.00%)	2 (7.41%)
Pelvis		11 (57.89%)	3 (75.00%)	1 (33.33%)	1 (100.00%)	16 (59.26%)
Lower limb	Thigh	8 (42.11%)	2 (50.00%)	2 (66.67%)	–	12 (44.44%)
	Lower leg	8 (42.11%)	2 (50.00%)	1 (33.33%)	1 (100.00%)	12 (44.44%)
	Bones of the foot	3 (15.79%)	1 (25.00%)	1 (33.33%)	–	5 (18.52%)
Charring of the corpse		9 (47.37%)	–	1 (33.33%)	1 (100.00%)	11 (40.74%)
Cause of death	Polytrauma	14 (73.68%)	3 (75.00%)	2 (66.67%)	1 (100.00%)	20 (74.07%)
	Head and brain injuries	2 (10.53%)	–	–	–	2 (7.41%)
	Spinal injuries	–	1 (25.00%)	–	–	1 (3.70%)
	High temperature and carbonization (fire)	3 (15.79%)	–	1 (33.33%)	–	4 (14.81%)

However, because of the small number of underage victims (3), generalising over the entire paediatric population would involve a high risk of error.

Discussion

Aircraft accidents belong to the broad category of vehicle accidents. They predominantly result in both damage to the aircraft and severe injury or death in the persons travelling on board.

In terms of the sex and age distribution, a majority of the aircraft accident victims were found to be men (81% men vs 19% women). These results are consistent with those obtained in a study by Li and Baker, in which men and women constituted 84% and 16% of all victims, respectively ((Li, Baker, 1997). The mean age of the deceased was 40.3 years, which is consistent with the values obtained in other publications. According to a retrospective cohort study, the mean age of aircraft accident victims treated in a traumatology department in the area of Johannesburg was 44.8 years (Makhadi, Moeng, Pswarayi, 2021). The autopsy protocols available at the Department of Forensic Medicine also included three children with a mean age of 14 years. In an American study from 2014, the victims of fatal aircraft accidents also included underage persons, who in all cases were the passengers, with a mean age of 7.7 years (Poland, Marshall, 2014). The differences between the aforementioned publication and this study may have resulted from the number of analysed cases. In the former, there were 12 different incidents involving the children; whereas in the latter, all three children were involved in the same, single incident.

Even though aircraft accidents constitute a specific group of vehicle accidents, there are certain similarities between them and other traffic accidents; for instance, in terms of high-velocity collisions. Rapid axial deceleration causes ruptures of the organs at their attachment points (including the lung roots, kidneys and spleen; Teresiński, 2019). The performed analysis showed that the most commonly injured organ was the lungs (62.96%), followed by the heart (55.6%), liver (51.9%), aorta (40.7%) and spleen (29.6%). The data collected correlates with a 2003 study on injuries in aircraft pilots, according to which the most common injuries were ruptures of the liver (48.1%), lung (37.6%) and heart (35.6%), as well as spleen injuries (30.1%) (Wiegmann, Taneja, 2003).

It is important to take into account the mechanism of injury. DiMaio et al. (2021), in a section dedicated to this topic, presented six basic mechanisms of

accidents; namely, direct impact with the ground at an angle of 45–90°, direct impact at a low angle, diving of a rotating airplane (usually nose-down), impact while flying in a spiral, aircraft breaking apart during flight, and the wire strike (primarily in the case of helicopters). In acceleration-related injuries, the force is distributed, which results in fewer injuries, whereas in the case of contact damage (secondary contact), the body part touches the surface, which causes an injury at the point of contact (Wiegmann, Taneja, 2003). Consequently, the mechanism of secondary contact may explain the isolated fractures of different bones and the rupture of organs such as the ribs, femur or skull.

Another publication found that shear, vibration and compression forces play an important role in the rupture of organs such as the liver and spleen (Cullen, 2005). In turn, the aorta ruptures through its penetration by the fractured ends of ribs, an impact with aircraft components (secondary contact; Wiegmann, Taneja, 2003), the ‘chin-sternum-heart syndrome’ lesion trauma or when the heart moves downward while the aorta stays anchored above. Injury occurs under a force of at least 50G, usually applied immediately above the aortic valve annulus or at the end of the aortic arch (Cullen, 2011).

The analysis of the collected data helped to determine the prevalence of each type of bone injury in the accident victims. Wiegmann and Taneja (2003) reported that the most common bone injuries in a group of aircraft accident victims were fractures of the ribs (72.3%), skull (55.1%), facial bones (49.4%), tibia (37.9%) and the pelvis (36.0%). These results are consistent with those obtained in this study, in which the most commonly fractured bones were the ribs (77.8%), upper limbs (77.8%) and the skull (74.1%).

The subject literature also lists spinal injuries among the types associated with aviation accidents, such as ring fractures around the neck opening and ‘hinge fractures’ (Cullen, 2011). These findings correspond to the results of this study, in which cervical spine injuries were the most common direct cause of death compared to other injury sites in the spine. The analysis also showed that the spine injuries, primarily in the thoracic region, were not fatal. Although lumbar region injuries were the most common in a 2015 study, this discrepancy between the data can be explained by the mechanism of the injury. Postma et al. (2015) examined the case of a passenger airplane as part of their analysis of a number of incidents involving light aircraft.

The most common cause of death observed in this analysis was multiple organ trauma (74.1%). This

corresponds with the findings of Li and Baker (1997), who also reported multiple organ trauma as the most common direct cause of death, occurring in 42% of individuals. Other causes of death observed in this analysis were thermal burns (14.8%), craniocerebral injuries (7.4%) and cervical spinal cord injuries (3.7%).

According to a publication, thermal injuries in the form of charring occur in 1/3 of motor aircraft accidents (Cullen, 2005). In this study, burns and charring were noted in 40.7% of all cases and in 47.8% of the victims of motor aircraft accidents. The above data allows for the conclusion that nearly half of the victims of motor aircraft accidents sustain burns before or after death, likely due to the ignition of fuel or other engine fluids.

In the case of aircraft accidents involving a fire, it seems particularly important to determine whether the fire started during flight or after the accident, and to determine the potential exposure of the victims to smoke from the fire or carbon monoxide (CO) from faulty exhaust systems. The presence of toxic smoke during an accident is indicated by post-mortem blood carboxyhaemoglobin in the victims, the presence of which demonstrates that before death, a person breathed air polluted with CO on board of the plane. CO is the product of the combustion of non-nitrogenous organic materials, whereas hydrogen cyanide (HCN) may also be produced by the combustion of nitrogenous organic materials. In this study, 11 of the victims showed the presence of blood carboxyhaemoglobin.

Since according to subject literature, the concentration of alcohol in a pilot's blood is one of the main causes of human error leading to aircraft accidents, information on the amount of ethanol in the victims' bodies is included in the autopsy protocols (Santhosh, Sampath, Gupta, 2021). Consequently, the group of victims was assessed for blood alcohol. However, the credibility of the results was dubious in most cases, due to the materials transforming during a fire or due to the fact that the level of blood alcohol may have resulted from fermentation. In only two cases, the blood alcohol and urine alcohol were high enough to be considered clinically significant.

Conclusions

1. The victims of aircraft accidents were predominantly middle-aged men, who were usually aircraft pilots. Most of the analysed accidents involved light motor aircraft.

2. Blunt trauma is considered to be the primary cause of death in aircraft accidents. In this study, multiple organ trauma was the most common direct cause of death.
3. Lung, heart, aorta, liver and spleen injuries were the most prevalent. Bone fractures predominantly concerned the ribs, upper limbs and the skull.
4. Fatal accident victims usually sustained a spine injury in the thoracic region.
5. The presence of blood carboxyhaemoglobin in almost half of the victims indicates the intravital nature of the changes and death occurring after the accident: pilots and passengers of motor aircraft showed higher concentrations of carboxyhaemoglobin.
6. In most cases, the presence of blood alcohol indicated post-mortem changes.
7. Autopsies do not always unambiguously indicate the mechanism of death, especially in the case of fire victims.
8. Due to the small number of underage victims (3), generalising over the paediatric population would involve a high risk of error.
9. This study may provide valuable guidelines for determining the patterns of injury, thus improving the safety in general aviation. Detailed autopsies and an active search for patterns of injury may provide important leads for the reconstruction of the mechanisms and sequences of accidents, and as a result, may facilitate finding the causes of future incidents.

References

1. Cullen, S. A. (2005). Injuries in fatal aircraft accidents, pathological aspects and associated biodynamics in aircraft accident investigation. *Research and Technology Organisations*, 1–14.
2. Cullen, S. A. (2011). Aviation deaths. (In) E. E. Turk (Ed.), *Forensic pathology reviews*, vol. 6 (pp. 145–167). Humana Press.
3. DiMaio, V., Molina, D. (Eds.), (2021). *DiMaio's forensic pathology* (3rd ed.). CRC Press.
4. Eurostat. EU-registered aircraft: 147 deaths in the EU in 2022. Retrieved November 11, 2023 from: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230907-1>
5. Li, G., Baker, S. P. (1997). Injury patterns in aviation-related fatalities. Implications for preventive strategies. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 18(3), 265–270.

6. Makhadi, S., Moeng, M. S., Pswarayi, R. (2021). An analysis of air-crash injury patterns presenting at a level 1 trauma unit in Johannesburg, a retrospective cohort study. *Annals of Medicine and Surgery*, 64, 102194.
7. Payne-James, J., Jones, R. (Eds.), (2019). *Simpson's forensic medicine*, 14th Edition. CRC Press.
8. Poland, K. M., Marshall, N. M. (2014). A study of general aviation accidents involving children in 2011. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(8), 818–822.
9. Postma, I. L., Oner, F. C., Bijlsma, T. S., Heetveld, M. J., Goslings, J. C., Bloemers, F. W. (2015). Spinal injuries in an airplane crash: a description of incidence, morphology, and injury mechanism. *Spine*, 40(8), 530–536.
10. Santhosh, S. R., Sampath, S., Gupta, A. (2021). Determination of serotonin metabolites in urine sample by liquid chromatography-mass spectrometry as biomarkers of recent alcohol intake: implication for aircraft accident investigation. *Medical Journal Armed Forces India*, 77(1), 51–57.
11. Teresiński, G., Unarski, J., Wach, W. (2019). Wypadki i katastrofy lotnicze. (In) G. Teresiński (Ed.), *Medycyna sądowa, tom 1* (pp. 777–788). Warszawa: PZWL.
12. Wiegmann, D. A., Taneja, N. (2003). Analysis of injuries among pilots involved in fatal general aviation airplane accidents. Accident; analysis and prevention. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 35(4), 571–577.

ORCID


Piotr Juda  0009-0005-0940-3871

Dawid Pajor  0000-0003-0734-1935

Łukasz Wójcik  0009-0006-8679-6880

Anna Kaczmarska  0000-0002-5072-7764

Milena Nowak  0009-0009-7847-113X

Tomasz Konopka  0000-0001-5930-957X

Corresponding authors

Dawid Pajor, Piotr Juda
Students' Scientific Group of Forensic Medicine
Jagiellonian University Medical College
ul. Grzegórzecka 16
PL 31-531 Kraków
e-mail: dawid.pajor@student.uj.edu.pl
e-mail: piotr.juda@student.uj.edu.p

ANALIZA OBRAŻEŃ OFIAR KATASTROF LOTNICZYCH W LATACH 2002–2022 NA PODSTAWIE DANYCH POCHODZĄCYCH Z MATERIAŁÓW ZAKŁADU MEDYCYNY SĄDOWEJ UNIwersYTETU Jagiellońskiego W KRAKOWIE

Wstęp

Wypadki lotnicze stanowią specyficzną grupę zdarzeń komunikacyjnych – stosunkowo rzadkich, jednak wyjątkowo tragicznych w swoich skutkach. W ich wyniku dochodzi najczęściej do szeregu uszkodzeń ciała, spowodowanych zarówno działaniem sił mechanicznych, termicznych, jak i chemicznych (Payne-James, Jones, 2019). Analiza sekcyjna ofiar wypadków lotniczych powinna opierać się na określeniu typu statku powietrznego biorącego udział w zdarzeniu w korelacji z obecnością konkretnych obrażeń ciała. Stąd zdarzenia w ruchu powietrznym dzielimy pod względem rodzaju maszyny na wypadki szybowców, lotni, motolotni, parolotni oraz balonów, statków ultralekkich, lekkich samolotów i śmigłowców, wypadki skoczków spadochronowych (niebranych w tym badaniu pod uwagę) i ostatecznie wypadki małych i dużych samolotów pasażerskich (Teresiński, 2019). Z danych Eurostatu wynika, iż w 2022 roku na terenie Unii Europejskiej w wyniku wypadków lotniczych aż 147 osób poniosło śmierć, z czego aż 83% stanowiły katastrofy statków powietrznych o niskiej masie startowej (poniżej 2250 kg), a więc szybowce, parolotnie, motoszybowce, małe helikoptery i samoloty. W Polsce zginęło w ten sposób 7 osób, co stawia ją na 5 miejscu pod względem śmiertelności pośród 27 krajów Unii Europejskiej (Eurostat, 2023). W zależności od sposobu poruszania się samolotu można spodziewać się różnych rodzajów obrażeń. Podczas nieudanej próby lądowania, w przypadku uderzenia samolotu w ziemię pod niskim kątem, ciała pilotów i pasażerów poruszają się w kierunku panelu sterowania, skutkiem czego obrażenia będą analogiczne do tych obecnych u kierowców i pasażerów samochodów w zderzeniach czołowych. Rozbicie się śmigłowca, rozpad samolotu w fazie lotu, a także wypadki pojazdów latających bez kabiny skutkują obrażeniami podobnymi do następstw upadków z wysokości. Ponadto stwierdza się obrażenia spowodowane działaniem wysokiej temperatury, a także rozczłonkowania ciał ofiar związane z dużą prędkością uderzenia (Payne-James, Jones, 2019). W świetle powyższych danych obrano cel pracy, jakim było podsumowanie danych pochodzących z materiałów Zakładu Medycyny Sądowej Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego i przeanalizowanie ich w zestawieniu z najczęstszymi obrażeniami ujawniającymi się wśród badanych ofiar oraz porównanie zebranych informacji w stosunku do najnowszej literatury

badającej temat katastrof lotniczych, szczególnie w zakresie lotnictwa lekkiego.

Material i metody

Badanie polegało na analizie protokołów sekcyjnych znajdujących się w Katedrze Medycyny Sądowej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum w Krakowie. Zbadano wszystkie protokoły sekcyjne z lat 2002–2022. Spośród nich wybrano te, w których bezpośrednią przyczyną zgonu był wypadek lotniczy. Wybór przypadków dokonywany był poprzez dwie niezależne osoby, a ich wyniki były zbieżne. Zidentyfikowano początkowo 46 przypadków zgonów z powodu wypadku lotniczego. Do dalszej analizy wybrano 27 przypadków, natomiast pozostałe 19 wykluczono ze względu na: przeprowadzenie ekshumacji (13 przypadków), nieprzeprowadzenie sekcji, a jedynie przechowanie zwłok na terenie Zakładu (2 przypadki), niekompletność badanych szczątków (3 przypadki) oraz charakter wypadku – przypadek, w którym motocyklista zderzył się z szybowcem na płycie lotniska (1 przypadek). W protokołach z ekshumacji część danych nie była dostępna do wglądu w Katedrze Medycyny Sądowej (ofiary katastrofy smoleńskiej), natomiast pozostałe protokoły opisywały jedynie szczątki ludzkie (kości) – gen. Władysław Sikorski, gen. Tadeusz Klimecki, por. Józef Ponikiewski czy płk. Andrzej Marecki (katastrofa na Gibraltarze). Dane z ekshumacji nie pozwoliły w pełni zapoznać się z obrażeniami spowodowanymi bezpośrednio w momencie katastrofy lotniczej. Wśród włączonych do badania 27 przypadków przeanalizowano takie dane jak: płeć, wiek, okoliczności zdarzenia, obrażenia, obecność substancji psychoaktywnych u denatów (alkohol, narkotyki) oraz stężenie we krwi karboksyhemoglobiny.

Wyniki

Do badania włączono 27 osób – 22 mężczyzn (81.5%) oraz 5 kobiet (18.5%). Średnia wieku ofiar wypadków wynosiła 40,3 lat (SD 17,0). Najczęstszymi wypadkami były te z udziałem samolotu, co stanowiło 70,4% wypadków, na drugim miejscu znalazły się wypadki szybowców – 14,8%. Wypadki motolotni oraz śmigłowców stanowiły odpowiednio 11,1% oraz 3,7% incydentów.

Dwie ofiary były pod wpływem alkoholu (takim, który nie wynikał z naturalnych procesów powstawania alkoholu pośmiertnie) – pomiary u tych ofiar wskazywały odpowiednio 2,0‰ (krew), 2,9‰ (mocz) oraz 0,9‰ (krew), 1,4‰ (mocz) alkoholu. Obecność alkoholu powiązanego z procesami gnilno-fermentacyjnymi stwierdzono u 12 osób. 11 denatów miało oznaczony poziom karboksyhemoglobiny, który średnio wyniósł 20% (SD 8,0). Obecność karboksyhemoglobiny stwierdzano tylko u pilotów i pasażerów maszyn silnikowych.

Najczęstszą bezpośrednią przyczyną zgonu były obrażenia wielonarządowe 74,1%. 14,8% (n = 4/27) ofiar zginęło w efekcie poparzenia termicznego, 7,4% (n = 2/27) – w wyniku urazu czaszkowo-mózgowego oraz 3,7% (n = 1/27) – w wyniku urazu rdzenia kręgowego w odcinku szyjnym.

Tabela 1 przedstawia charakterystykę przypadków. Najczęstszymi urazami, jakich doznawali denaci, był uraz płuca 63,0% (n = 17/27), serca 55,6% (n = 15/27), uraz wątroby 51,9% (n = 14/27), aorty 40,7% (n = 11/27), oraz uraz śledziony 29,6% (n = 8/27). Najczęstszymi złamaniami, jakie stwierdzano, były odpowiednio: żebra 77,8% (n = 21/27), kończyzna górna 77,8% (n = 21/27), czaszka 74,1% (n = 20/27), miednica 59,3% (n = 16/27), uraz kręgosłupa 51,9% (n = 15/27): szyjny – 11,1% (n = 3/27), piersiowy – 37,0% (n = 10/27), lędźwiowy – 7,4% (n = 2/27), podudzie 44,4% (n = 12/27) oraz kość udowa 44,4% (n = 12/27). Dwa przypadki dotyczyły oddzielenia, w pierwszym przypadku głowy od reszty ciała, w kolejnym – kończyny górnej.

Rycina 1 zawiera wykres przedstawiający najczęstsze obrażenia ofiar katastrof lotniczych. Uszkodzenia ciała pod wpływem działania wysokiej temperatury stwierdzono wyłącznie w przypadkach wypadków statków powietrznych z napędem silnikowym. Obecność obrażeń termicznych stwierdzono u 40,7% (n = 11/27) wszystkich badanych i 47,8% (n = 11/23), a u badanych, którzy podróżowali z wykorzystaniem pojazdu silnikowego – najczęściej w postaci całkowitego lub prawie całkowitego zwęglenia, choć zwykle nie było to bezpośrednią przyczyną zgonu.

Na podstawie charakterystyki obrażeń oceniono, iż w niektórych przypadkach istnieją różnice w częstości występowania poszczególnych obrażeń pod względem rodzaju maszyny. Stwierdzono, że uszkodzenia kręgosłupa występowały częściej u pasażerów szybowców 75,0% (n = 3/4) i motolotni 100,0% (n = 3/3) niż u pasażerów samolotów 36,8% (n = 7/19). Pęknięcia aorty częściej pojawiały się u ofiar szybowców 75,0% (n = 3/4) niż samolotów 31,6% (n = 6/19) i motolotni 33,3% (n = 1/3), natomiast obrażenia termiczne pojawiły się u 52,6% (n = 10/19) ofiar wypadków samolotów, w porównaniu do 33,3% (n = 1/3) w przypadku motolotni. Warto jednak zwrócić uwagę, że w przeprowadzonej analizie występuje znaczna dysproporcja pomiędzy liczbą ofiar

wypadków samolotów 70,4% (n = 19/27), szybowców 14,8% (n = 4/27) oraz motolotni 11,1% (n = 3/27). Analizowana grupa wypadków zawierała jedynie 27 przypadków, co w bezpośredni sposób wpływa na reprezentatywność danych (pojedyncze zdarzenie istotnie wpływa na wartość procentową), a tym samym utrudnia porównania pomiędzy grupami mniej licznymi (ofiary szybowców i motolotni) z większą populacją ofiar wypadków, w których brały udział samoloty, gdzie prawdopodobieństwo błędu losowego jest istotnie mniejsze.

Tabela 2 przedstawia wszystkie obrażenia wykazane podczas badania sekcyjnego z podziałem na środek transportu.

Wśród analizowanych przypadków znalazły się trzy czterastoletnie dziewczyny (katastrofa Cessny T182T Krakowskiego Aeroklubu z następowym wybuchem zbiorników paliwa). U dwóch z nich przyczyną zgonu były obrażenia czaszkowo-mózgowe, natomiast u trzeciej – obrażenia wielonarządowe. Ponadto u wszystkich stwierdzono obecność obrażeń termicznych. Ze względu na małą liczbę ofiar nieletnich (3 osoby) wyciągnięcie ogólnych wniosków dotyczących populacji pediatrycznej jest obciążone dużym ryzykiem błędu.

Dyskusja

Katastrofy lotnicze należą do szerokiej grupy wypadków komunikacyjnych. W ich wyniku dochodzi najczęściej zarówno do uszkodzenia statku powietrznego, jak i do poważnych obrażeń osób znajdujących się na pokładzie, skutkiem czego w wielu przypadkach ponoszą one śmierć lub doznają poważnego uszczerbku na zdrowiu.

Przyglądając się strukturze płci i wieku, stwierdzono, iż większość osób poszkodowanych w wypadkach lotniczych stanowią mężczyźni (81%) w stosunku do (19%) kobiet. Powyższe dane pokrywają się z wynikami pracy badaczy, w publikacji których mężczyźni stanowili odpowiednio 84%, a kobiety 16% (Li, Baker, 1997). Oceniając następnie strukturę wiekową denatów, zaobserwowano, że średnia wieku osób zmarłych wynosiła 40,3 lat. Obliczona wartość zbiega się z danymi przedstawionymi w innych publikacjach. Jak podaje retrospektywne badanie kohortowe, średnia wieku pacjentów leczonych w ramach oddziału traumatologii po katastrofach lotniczych w okolicach Johannesburga wynosiła 44,8 lat (Makhadi, Moeng, Pswarayi, 2021). W materiałach krakowskiego Zakładu Medycyny Sądowej wśród ofiar wypadków stwierdzono również obecność ciał trójki dzieci, a średnia ich wieku wynosiła 14 lat. W amerykańskiej pracy z 2014 roku ofiarami takowych zdarzeń były również osoby niepełnoletnie, które za każdym razem pełniły rolę pasażerów statku lotniczego ze średnią wieku 7,7 – ofiary śmiertelne (Poland, Marshall, 2014). Różnica pomiędzy przytoczoną pracą a niniejszą publikacją wynikać

może z liczby przypadków biorących udział w badaniu. W omawianym w artykule badaniu dzieci były ofiarami zaledwie jednej katastrofy, natomiast w badaniu prowadzonym przez Amerykanów brały one udział w 12 zdarzeniach.

Pomimo że katastrofy lotnicze stanowią specyficzną grupę wypadków komunikacyjnych, można zaobserwować pewne cechy wspólne łączące je z innymi zdarzeniami komunikacyjnymi, jak na przykład kolizjami przy dużych prędkościach. Gwałtowne wyhamowanie osiowe powoduje pęknięcia narządów w miejscach ich umocowania (w tym korzeni płuc, nerek, śledziony; Teresiński, 2019). Zgodnie z przeprowadzoną analizą organem, który najczęściej ulegał obrażeniom, były płuca (62,96%), a następnie serce (55,6%), wątroba (51,9%), aorta (40,7%) i śledziona (29,6%). Zebrane dane korelują z badaniem z 2003 roku dotyczącym obrażeń u pilotów statków powietrznych, według którego najczęstszymi uszkodzeniami ciała były: rozerwanie wątroby (48,1%), płuc (37,6%), serca (35,6%) oraz urazy śledziony (30,1%) (Wiegmann, Taneja, 2003).

Podczas analizy wypadków ważne jest uwzględnienie mechanizmów urazowości. W rozdziale poświęconym temu tematowi DiMaio i współpracownicy (2021) przedstawiają 6 podstawowych mechanizmów katastrof, to jest: bezpośrednie uderzenie o ziemię pod kątem 45° do 90°, bezpośrednie uderzenie przy niskim kącie, nurkowanie wirującego samolotu – zwykle w pozycji nosem w dół, uderzenie podczas lotu po spirali, rozpad w locie, zahaczenie o przewody wysokiego napięcia – głównie dotyczy to helikopterów. W przypadku obrażeń związanych z przyspieszeniem działanie siły jest rozłożone, co skutkuje mniejszą ilością obrażeń, z kolei przy zadziałaniu uszkodzenia kontaktowego (kontakt wtórny) – część ciała wchodzi w kontakt z powierzchnią w taki sposób, że dochodzi do urazu w miejscu kontaktu (Wiegmann, Taneja, 2003). W związku z powyższym mechanizm kontaktu wtórnego tłumaczyć może izolowane złamania poszczególnych narządów i kości, takich jak: żebra, kości udowe, złamania czaszki.

W innej publikacji stwierdzono, iż w przypadku pęknięć narządów, takich jak wątroba czy śledziona, ważną rolę odgrywają siły ścinania, wibracji oraz kompresji (Cullen, 2005). Pęknięcia aorty powstają z kolei przy penetracji przez złamane końce żeber, uderzenie o elementy samolotu (kontakt wtórny; Wiegmann, Taneja, 2003), przy urazie zgięciowym – „zespół podbródek-mostek-serce”, lub gdy serce porusza się w dół, podczas gdy aorta pozostaje zakotwiczona powyżej. Do uszkodzeń w takich mechanizmach dochodzi przy zadziałaniu siły przynajmniej 50G, najczęściej tuż nad pierścieniem zastawki aortalnej lub na końcu łuku aorty (Cullen, 2011).

Analiza zebranych danych pozwoliła na ustalenie częstości konkretnych obrażeń układu kostno-szkieletowego występujących u denatów. Wiegmann i Taneja

(2003) wykazali, że najczęściej występującymi urazami kostnymi w grupie ofiar wypadków lotniczych były złamania żeber (72,3%), czaszki (55,1%), kości twarzy (49,4%), kości piszczelowej (37,9%) i miednicy (36,0%). Wyniki przedstawione przez tych autorów są spójne z przeprowadzoną analizą, gdyż najczęstszymi zaobserwowanymi złamaniami w niniejszym badaniu były: złamania żeber (77,8%), kończyn górnych (77,8%) oraz czaszki (74,1%).

Charakterystycznymi rodzajami obrażeń związanymi z wypadkami lotniczymi wymienianymi w literaturze są również uszkodzenia kręgosłupa, takie jak złamania pierścienia wokół otworu szyjnego oraz tak zwane „złamania zawiasowe” (Cullen, 2011). Informacje te korespondują z wynikami niniejszego badania, gdyż obrażenia doznane właśnie w odcinku szyjnym kręgosłupa stanowiły najczęstszą bezpośrednią przyczynę śmierci w porównaniu do innych umiejscowień obrażeń tej struktury anatomicznej. Na podstawie przeprowadzonego badania ustalono również, że obrażenia w zakresie kręgosłupa, dotyczące przede wszystkim odcinka piersiowego, nie stanowiły obrażeń śmiertelnych. Choć wyniki badania z 2015 roku wskazują jako najczęstsze uszkodzenie w odcinku lędźwiowym, to rozbieżność powyższych danych tłumaczyć może mechanizm wypadku. W badaniu Postmy i współpracowników analizowano wypadek pojedynczego samolotu pasażerskiego (2015), oceniając szereg zdarzeń z udziałem maszyn lekkich.

Najczęstszą przyczyną śmierci stwierdzaną w przeprowadzonym badaniu stanowiły obrażenia wielonarządowe (74,1%). Koresponduje to z ustaleniami Li i Bakera (1997), którzy również wymieniają obrażenia wielonarządowe jako najczęstszą bezpośrednią przyczynę zgonu występującą u 42% badanych. Innymi przyczynami śmierci wynikającymi z przeprowadzonej analizy były w 14,8% poparzenia termiczne, w 7,4% urazy czaszko-mózgowe oraz w 3,7% – urazy rdzenia kręgowego w odcinku szyjnym.

Według doniesień jednej z publikacji obrażenia termiczne w postaci spalenia dotyczą 1/3 przypadków katastrof z udziałem pojazdów silnikowych (Cullen, 2005). W przypadku tego badania poparzenia i zwęglenia stwierdzono u 40,7% wszystkich badanych i u 47,8% ofiar katastrof tylko z udziałem maszyn silnikowych. Przytoczone dane pozwalają stwierdzić, iż prawie połowa ofiar katastrof silnikowych statków powietrznych ulega oparzeniom przed lub po śmierci, prawdopodobnie w wyniku zapłonu paliwa lub innych płynów silnikowych.

Podczas analizy wypadków lotniczych, w których doszło do pożaru, szczególnie istotne wydaje się ustalenie, czy pożar miał miejsce podczas lotu czy po katastrofie, oraz określenie możliwego narażenia ofiar na dym z pożarów lub na CO z wadliwych układów wydechowych. Na obecność toksycznego dymu podczas wypadku wskazuje pośmiertne stężenie karboksyhemoglobiny we krwi

ofiary, które jest dowodem na to, że osoba ta oddychała powietrzem skażonym tlenkiem węgla we wnętrzu samolotu przed śmiercią. Tlenek węgla (CO) jest produktem spalania bezazotowych materiałów organicznych, natomiast pojawienie się cyjanowodoru (HCN) może być wynikiem spalania także azotowych materiałów organicznych. W przeprowadzonym badaniu obecność karboksyhemoglobiny była potwierdzona we krwi 11 ofiar.

Ponieważ stężenie alkoholu we krwi pilota jest wymieniane jako jedna z głównych przyczyn błędów ludzkich prowadzących do katastrof lotniczych, protokoły sekcyjne zawierają również informacje na temat ilości etanolu w ciele ofiar (Santhosh, Sampath, Gupta, 2021). W związku z powyższym dokonano analizy grupy ofiar ze względu na obecność alkoholu we krwi, jednak w większości przypadków wiarygodność tych wyników jest wątpliwa ze względu na transformację materiałów podczas pożaru lub fakt, że poziom alkoholu może być wynikiem procesu fermentacji. Jedynie w dwóch przypadkach stężenie alkoholu we krwi bądź moczu było tak wysokie, że zostało ono uznane za pomiar istotny klinicznie.

Wnioski

1. Ofiary wypadków lotniczych stanowili najczęściej mężczyźni w wieku średnim, będący zwykle pilotami statku powietrznego, a większość analizowanych katastrof dotyczyła katastrof lekkich samolotów z napędem silnikowym.
2. Za główną przyczynę śmierci w przypadku katastrof statków powietrznych uznaje się urazy tępe. W opisywanym tu badaniu obrażenia wielonarządowe stwierdzone były jako główna bezpośrednia przyczyna śmierci większości ofiar.
3. Najczęstsze były obrażenia płuc, serca i aorty, wątroby oraz śledziony. Złamania dotyczyły przede wszystkim kości żeber, kończyn górnych oraz czaszki.
4. Do obrażeń kręgosłupa u denatów dochodziło najczęściej w odcinku piersiowym.
5. Obecność karboksyhemoglobiny we krwi u prawie połowy ofiar wskazuje na zażyciowość zmian i zgon następujący w okresie po katastrofie – piloci i pasażerowie statków silnikowych cechowali się obecnością większego stężenia karboksyhemoglobiny.
6. Obecność alkoholu u ofiar wskazuje w większości przypadków na zmiany pośmiertne.
7. Sekcja zwłok nie zawsze jest w stanie jednoznacznie wskazać mechanizm zgonu, szczególnie w przypadku ofiar pożarów.
8. Ze względu na małą liczbę ofiar nieletnich (3 osoby) wyciągnięcie ogólnych wniosków dotyczących populacji pediatrycznej jest obarczone dużym ryzykiem błędu.
9. Opisywane w niniejszej pracy badanie może stanowić cenną pomoc w określeniu wzorców obrażeń, a tym samym przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa, szczególnie w zakresie lotnictwa ogólnego. Szczegółowa sekcja zwłok oraz aktywne poszukiwanie wzorców obrażeń może dostarczyć ważnych wskazówek w trakcie rekonstrukcji mechanizmu i sekwencji wypadku, a tym samym przyspieszyć ustalenie przyczyn przyszlých katastrof.