

A rare case of the coexistence of injuries typical of a fall from height

Rzadki przypadek współwystępowania zespołu obrażeń typowych dla upadku z wysokości

Tomasz Cywka

Chair and Department of Forensic Medicine, Faculty of Medicine, Medical University of Lublin
Katedra i Zakład Medycyny Sądowej, Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

Abstract

Falls from heights constitute the second most common cause of suicides in Poland, often resulting in multiple organ injuries. This paper describes a rare case of a 32-year-old man who died after jumping from a four-story building. The autopsy and post-mortem computed tomography analysis revealed a unique coexistence of injuries characteristic of a fall onto extended lower limbs, such as a circular fracture of the base of the skull as well as multiple fractures of the spine, pelvis, and lower limbs. The geodetic analysis enabled the determination of the fall height and flight range, which facilitated further conclusions regarding the active phase of movement and the verification of the circumstances of the event. This case highlights the importance of a comprehensive approach in evaluating the mechanisms of injuries caused by falls from heights. The use of post-mortem computed tomography, supplemented by geodetic data and traditional biomechanical methods, allows for a detailed assessment of the nature of injuries and the circumstances of the event. This type of multidimensional analysis enables more precise differentiation of injury mechanisms and reasoning about the cause of the fall, which is crucial in forensic practice.

Keywords

suicide, fall from height, fall onto feet, post-mortem computed tomography

Streszczenie

Upadki z wysokości stanowią drugą najczęstszą przyczynę samobójstw w Polsce, często prowadząc do wielonarządowych obrażeń ciała. Praca opisuje rzadki przypadek 32-letniego mężczyzny, który zginął po skoku z czteropiętrowego budynku. Sekcja zwłok oraz analiza pośmiertnej tomografii komputerowej wykazały unikalne współwystępowanie obrażeń charakterystycznych dla upadku na wyprostowane kończyny dolne, takich jak okrężne złamanie podstawy czaszki, liczne złamania kręgosłupa, miednicy oraz kończyn dolnych. Geodezyjna analiza umożliwiła ustalenie wysokości upadku i zasięgu lotu, co pozwoliło na dalsze wnioski dotyczące aktywnej fazy ruchu oraz weryfikację okoliczności zdarzenia. Przypadek ten podkreśla znaczenie kompleksowego podejścia w ocenie mechanizmów urazów spowodowanych upadkiem z wysokości. Wykorzystanie pośmiertnej tomografii komputerowej, uzupełnione o dane geodezyjne oraz tradycyjne metody biomechaniczne, pozwala na szczegółową ocenę charakteru obrażeń i okoliczności zdarzenia. Tego rodzaju wielowymiarowa analiza umożliwia precyzyjniejsze różnicowanie mechanizmów urazów oraz wnioskowanie o przyczynie zapoczątkowania upadków, co jest kluczowe w praktyce sądowo-lekarskiej.

Słowa kluczowe

samobójstwo, upadek z wysokości, upadek na stopy, pośmiertna tomografia komputerowa

Introduction

After hanging, jumping from height is the second most common method of suicide in Poland [1]. In the vast majority of cases, falls from height are associated with blunt injuries to several areas of the body, leading to severe multi-organ injuries and damage to osteoarticular structures.

From a forensic point of view, in addition to factors such as fall height, age and body weight of the victim, and flight trajectory, the type of surface at the point of impact and the body's orientation at the moment of first contact with the ground also significantly affect the nature and extent of injuries in victims of falls from height [2-11]. A fall onto a hard, non-deformable surface such as concrete or asphalt results in almost all of the impact energy being absorbed by the body, creating a risk of severe injuries. The body's orientation at the moment of contact with the ground is to a certain extent dependent on the height of the fall, as well as the victim's level of consciousness and defensive reactions. In falls from heights of up to several meters, the initial point of contact with the ground (head, limbs, buttocks) is crucial for the severity of injuries, as the first impact absorbs the most energy. Teh et al. demonstrated that victims of suicide attempts more frequently sustain fractures of the ribs, pelvic bones, and lower limbs. The authors explained that in these cases, the lower limbs first contact the ground, followed by the chest [10]. These conclusions are also supported by other reports on falls from height, which indicate that individuals committing suicide by jumping from heights tend to fall onto their feet [12-16].

Case description

A 32-year-old man had been walking on the roof of a four-story residential building for about half an hour, which drew the attention of passersby who alerted the emergency services. According to witnesses, when the fire brigade arrived, the man „took a run-up” and jumped off the roof, landing on the roadway. With the consent of the prosecutor's office, access to the case files was obtained, allowing for a detailed analysis of the collected evidence. The visual examination report noted that the man's body was lying on its back, approximately 0.4 meters from the edge of the roadway, with the head facing east. Unfortunately, it was not indicated how far the victim's body was from the building he jumped from, nor the actual height of the fall (the building was separated from the roadway by a high embankment).

Immediately before the autopsy, a PMCT (post-mortem computed tomography) examination was conducted. The entire body was scanned. The acquisition was performed using a 16-

Wprowadzenie

Rzucenie się z wysokości jest drugim co do częstości, po powieszeniu, sposobem popełnienia samobójstwa w Polsce [1]. W zdecydowanej większości przypadków upadki z wysokości związane są z tępyimi urazami kilku okolic ciała, prowadzącymi do ciężkich obrażeń wielonarządowych i uszkodzeń struktur kostno-stawowych.

Z sądowno-lekarskiego punktu widzenia na charakter i rozległość obrażeń u ofiar upadków z wysokości, oprócz takich czynników jak wysokość upadku, wiek, masa ciała ofiary, przebieg lotu, ogromny wpływ ma także rodzaj podłoża w miejscu upadku oraz orientacja ciała w momencie pierwszego kontaktu z podłożem [2-11]. Upadek na twardą, nieodkształcalną powierzchnię jak beton czy asfalt skutkuje tym, iż niemal cała energia urazu zostaje pochłonięta przez ciało stwarzając ryzyko doznania ciężkich obrażeń. Orientacja ciała w chwili kontaktu z podłożem wykazuje pewnego stopnia zależność od wysokości upadku oraz stanu świadomości i reakcji obronnych upadającej ofiary. Przy upadkach z wysokości do kilkunastu metrów miejsce pierwotnego kontaktu z podłożem (głowa, kończyny, pośladki) ma duże znaczenie dla stopnia nasilenia obrażeń, bowiem pierwsze uderzenie przejmuje największą część energii. Teh i wsp. wykazali, iż ofiary zamachów samobójczych częściej doznają złamań żeber, kości miednicy i kończyn dolnych, co autorzy tłumaczyli tym, iż u osób tych w pierwszej kolejności w kontakt z podłożem wchodzi kończyny dolne, a następnie klatka piersiowa [10]. Wnioski te znajdują potwierdzenie także w innych doniesieniach poświęconych upadkom z wysokości, zgodnie z którymi osoby dokonujące zamachu samobójczego poprzez rzucenie się z wysokości przejawiają tendencję do upadku na stopy [12-16].

Opis przypadku

32-letni mężczyzna przez około pół godziny chodził po dachu czteropiętrowego budynku mieszkalnego, czym wzbudził zainteresowanie przechodniów, którzy zaalarmowali służby. Jak podali świadkowie zdarzenia, gdy na miejsce przybyła straż pożarna mężczyzna „wziął rozbieg” i zeskoczył z dachu, spadając na jezdnię. Za zgodą prokuratury uzyskano wgląd w akta sprawy, co umożliwiło szczegółową analizę zgromadzonych materiałów dowodowych. W protokole oględzin odnotowano, iż zwłoki mężczyzny ułożone były w pozycji leżącej na plecach, w odległości około 0,4 m od krawędzi jezdni, głową zwrócone w kierunku wschodnim. Nie wskazano niestety w jakiej odległości od bloku, z którego skoczył denat, znajdowało się jego ciało, jak również rzeczywistej wysokości upadku (blok oddzielony był od jezdni wysoką skarpą).

Bezpośrednio przed sekcją zwłok zostało przeprowadzone badanie PMCT (pośmiertna tomografia komputerowa, ang. *Post-mortem Computed Tomography*). Skanowaniem objęto całe



Figure 1. Scene of the event. The red arrow marks the spot from which, according to witness reports, the man jumped
Rycina 1. Miejsce zdarzenia. Czerwoną strzałką oznaczono miejsce, z którego wg relacji świadków skoczył mężczyzna



Figure 2. Post-accident positioning of the body
Rycina 2. Powypadkowe usytuowanie zwłok

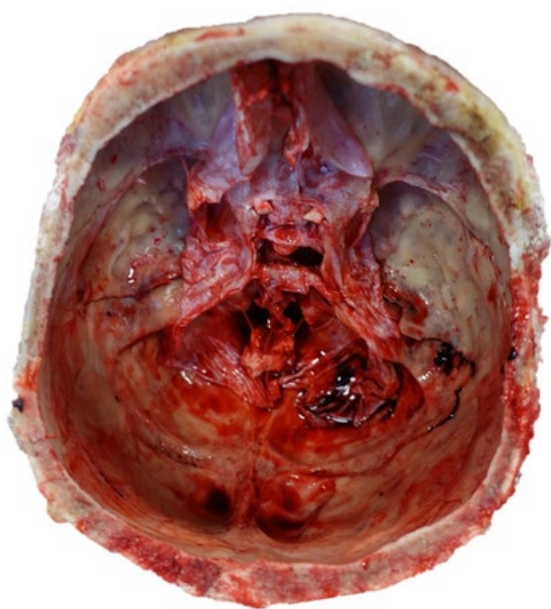


Figure 3. Circular fracture of the base of the skull – autopsy image
Rycina 3. Okrężne złamanie podstawy czaszki – obraz sekcyjny

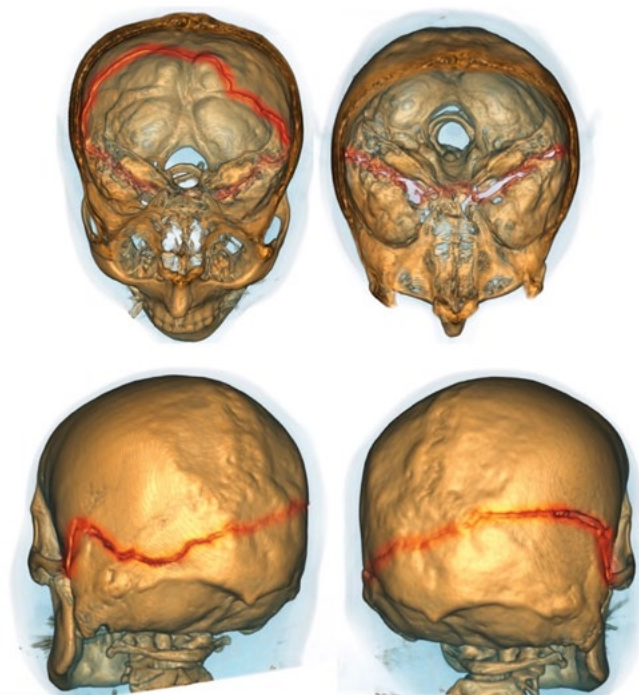


Figure 4. Circular fracture of the base of the skull – 3D visualization obtained from post-production data of post-mortem computed tomography (PMCT)
Rycina 4. Okrężne złamanie podstawy czaszki – wizualizacja 3D uzyskana w wyniku postprodukcji danych z pośmiertnej tomografii komputerowej (PMCT)

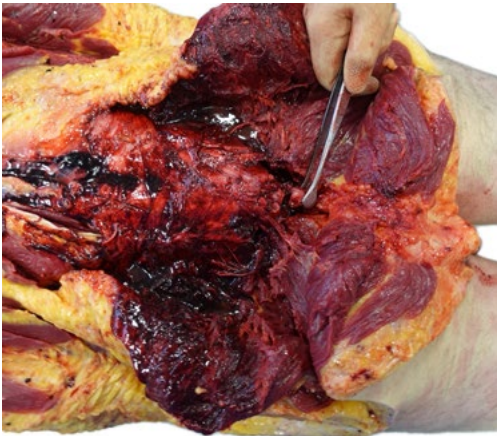


Figure 5. Hemorrhages and muscle rupture in the lumbosacral and gluteal regions with detachment of a fragment of the coccyx bone – autopsy image
Rycina 5. Wylewy krwawe i rozerwanie mięśni okolicy lędźwiowo-krzyżowej oraz pośladków z oderwaniem fragmentu kości guzicznej – obraz sekcyjny

Figure 6. Bilateral detachment of lower fragments of the sacrum, detachment of a fragment of the coccyx, fracture of the superior ramus of the left pubic bone – 3D visualization obtained from post-production data of post-mortem computed tomography (PMCT)

Rycina 6. Obustronne oderwanie fragmentów dolnych części kości krzyżowej, oderwanie fragmentu kości guzicznej, złamanie górnej gałęzi lewej kości łonowej – wizualizacja 3D uzyskana w wyniku postprodukcji danych z pośmiertnej tomografii komputerowej (PMCT)

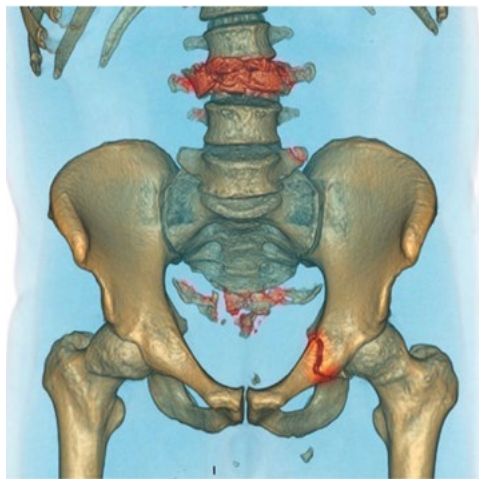


Figure 7. Comminuted, also referred to as “explosive” fracture of the L3 vertebral body. On the left, the autopsy image obtained after making a longitudinal section of the spine with a wedge-shaped excision of the vertebral bodies using a reciprocating saw. The middle and right figures show 3D visualizations obtained from post-production data of post-mortem computed tomography (PMCT)
Rycina 7. Wieloodłamowe, in. „wybuchowe” złamanie trzonu kręgu L3. Po stronie lewej obraz sekcyjny uzyskany po wykonaniu wzdłużnego przekroju kręgosłupa z klinowym wycięciem trzonów kręgów przy pomocy piły szablastej. Środkowa i prawa rycina przedstawiają wizualizację 3D uzyskaną w wyniku postprodukcji danych z pośmiertnej tomografii komputerowej (PMCT)

row computed tomography scanner (Astelion Advance Edition, Toshiba) using high-contrast filter to assess bone structures and a low-contrast hybrid filter for soft tissues and air structures, with layer thicknesses of 0.5 mm for the head and neck and 1.0 mm for the torso and lower limbs, obtained at 120 kV with automatic exposure control (AEC). The corpse was scanned in a lying position according to the standard protocol, which includes scanning the head and neck, torso, pelvis, and lower limbs. The analysis of the PMCT scans was performed using the Vitrea® diagnostic console, utilizing bone window settings and soft tissue settings.

The visual examination and autopsy of the man revealed:

- circular fracture of the skull base (Figs. 3 and 4), rupture of the medulla oblongata, extravasation of blood into the brain ventricles and spinal canal;
- ecchymoses on the torso, multiple bilateral rib fractures with intercostal ruptures, detachment of the manubrium of sternum and ruptures in the muscles of the anterior chest wall, hemorrhages in the subcutaneous tissue and muscles of the torso, foci of contusions in the parenchyma of both lungs, tears of the visceral pleura of the right lung, subpleural hemorrhages, and small hematomas in both pleural cavities;
- hemorrhages and muscle rupture in the lumbosacral and gluteal regions with bilateral fractures of lower parts of the sacrum and the fracture of the coccyx (Fig. 5 and 6), shallow rupture of the liver parenchyma and tearing of its capsule, fracture of the transverse process of the right L1 vertebra, compressive fragmentation of the L3 vertebral body with fractures of both transverse processes and the spinous process (Fig. 7), a fracture line running vertically through the central part of the L4 vertebral body, fracture of the spinous process of the L4 vertebra, fracture of the transverse process of the left L5 vertebra (Fig. 6), fracture of the superior ramus of the left pubic bone (Fig. 6);
- contused wound of the left upper limb, fracture of the left humerus with hemorrhage in the muscles, ecchymosis of the left forearm, open fracture of the shaft of the right tibia in the distal third part, two-location fracture of the shaft of the right fibula in the proximal third part and distal quarter part (Fig. 8), fragmentation of the tarsal bones and calcaneal bones with tearing of the skin and soft tissues of both feet (Fig. 9).

The analysis of the computed tomography images, conducted by a radiologist experienced in the evaluation of post-mortem radiological examinations, revealed not only the aforementioned osteoarticular injuries but also a bilateral fracture of the C2 vertebral arch, known as a hangman's fracture (Fig. 10).

For a more accurate estimation of the height from which the fall occurred and the distance of the body from the building at

ciało. Akwizycję wykonano przy użyciu 16-rzędowego tomografu komputerowego (Astelion Advance Edition, Toshiba) wykorzystując filtr wysokokontrastowy dla oceny struktur kostnych oraz niskokontrastowy filtr hybrydowy dla oceny tkanek miękkich i struktur powietrznych, z warstwami o grubości 0,5 mm dla głowy i szyi oraz 1,0 mm dla tułowia i kończyn dolnych, uzyskanymi przy 120 kV z automatyczną kontrolą ekspozycji (AEC). Zwłoki skanowano w pozycji leżącej zgodnie ze standardowym protokołem, obejmującym skanowanie głowy i szyi, tułowia, miednicy oraz kończyn dolnych. Analizę skanów PMCT przeprowadzono przy użyciu konsoli diagnostycznej Vitrea® z wykorzystaniem ustawień okna kostnego i dla tkanek miękkich.

Oględziny i sekcja zwłok mężczyzny wykazały:

- okrężne złamanie podstawy czaszki (ryc. 3 i 4), rozerwanie rdzenia przedłużonego, wynaczynienie krwi do komór mózgu i kanału kręgowego;
- podbiegnięcia krwawe na tułowie, liczne obustronne złamania żeber z rozerwaniem przestrzeni międzyżebrowych, oderwanie rękojeści mostka i rozerwania mięśni przedniej ściany klatki piersiowej, wylewy krwawe w tkance podskórnej i mięśniach tułowia, ogniska stłuczeń mięszu obu płuc, naderwania opłucnej płucnej prawego płuca, wylewy krwawe podopłucnowe, niewielkie krwiaki obu opłucnowych;
- wylewy krwawe i rozerwanie mięśni okolicy lędźwiowo-krzyżowej oraz pośladków z obustronnym złamaniem dolnych części kości krzyżowej i złamaniem kości guzicznej (ryc. 5 i 6), płytkie pęknięcie mięszu wątroby i naderwanie jej torebki, złamanie wyrostka poprzecznego prawego kręgu L1, kompresyjne rozfragmentowanie trzonu kręgu L3 ze złamaniem obu wyrostków poprzecznych i wyrostka kolczystego (ryc. 7), szczelinę złamania przebiegającą pionowo przez centralną część trzonu kręgu L4, złamanie wyrostka kolczystego kręgu L4, złamanie wyrostka poprzecznego lewego kręgu L5 (ryc. 6), złamanie górnej gałęzi lewej kości łonowej (ryc. 6);
- ranę tłuczoną lewej kończyny górnej, złamanie lewej kości ramiennej z wylewem krwawym w mięśniach, podbiegnięcie krwawe lewego przedramienia, otwarte złamanie trzonu prawej kości piszczelowej w 1/3 dalszej części, dwumiejscowe złamanie trzonu prawej strzałki w 1/3 bliższej części i w 1/4 dalszej części (ryc. 8), rozfragmentowanie kości stępu i kości piętowych z rozerwaniem powłok skórnych i tkanek miękkich obu stóp (ryc. 9).

Przeprowadzona przez specjalistę radiologa (doświadczonego w ocenie radiologicznych badań pośmiertnych) analiza obrazów z tomografii komputerowej, oprócz ww. obrażeń układu kostno-stawowego wykazała także obustronne złamanie łuku kręgu C2 tzw. złamanie wisielcze (ryc. 10).

W celu dokładniejszego oszacowania wysokości, z jakiej nastąpił upadek, oraz odległości ciała od bloku w momencie kontaktu z podłożem, wykorzystano dane geodezyjne z serwisu

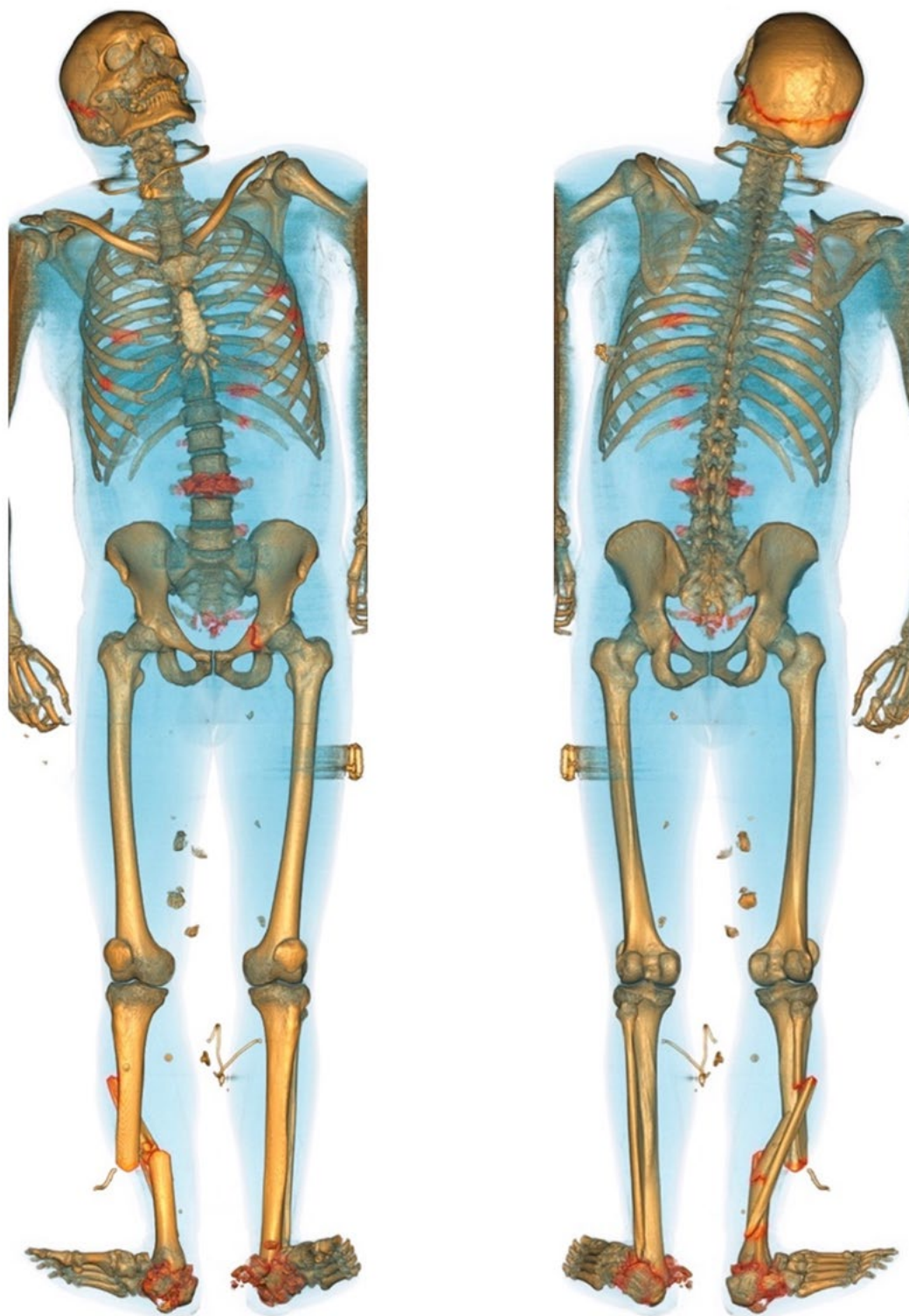


Figure 8. 3D visualization obtained from post-production data of post-mortem computed tomography (PMCT) showing the injuries of osteoarticular structures

Rycina 8. Wizualizacja 3D uzyskana w wyniku postprodukcji danych z pośmiertnej tomografii komputerowej (PMCT) przedstawiająca obrażenia struktur kostno-stawowych



Figure 9. Bilateral, comminuted open fractures of the calcaneus with crushing of subcutaneous tissue and tearing of the skin – autopsy image
Rycina 9. Obustronne, wieloodłamowe otwarte złamania kości piętowych ze zmiążdżeniem tkanki podskórnej i rozerwaniem powłok skórnych – obraz sekcyjny

the moment of ground contact, geodetic data from the Geoportal service in point cloud view mode (3D) [17] was used. Based on the obtained measurements, visualized in the figures, the approximate fall height and horizontal flight distance were calculated.

Next, using the transformed formula for flight range, the horizontal linear velocity of the body at the starting point was calculated to be 3.77 m/s [18].

$$x_{max} = v_0 \sqrt{\frac{2H_0}{g}}$$

where:
 x_{max} – flight range, i.e., the distance between the jump/fall point and the landing point on the ground (m);
 v_0 – horizontal linear velocity at the starting point;
 H_0 – height of the starting point of the fall (m);
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ – gravitational acceleration.

Geoportal w trybie widoku chmury punktów (3D) [17]. Na podstawie uzyskanych pomiarów, których wizualizację przedstawiono na rycinach, obliczono orientacyjną wysokość upadku oraz odległość poziomą przebytego lotu.

Następnie, korzystając z przekształconego wzoru na zasięg lotu, obliczono poziomą prędkość liniową ciała w miejscu startu, która wyniosła 3,77 m/s [18].

$$x_{max} = v_0 \sqrt{\frac{2H_0}{g}}$$

gdzie:
 x_{max} – zasięg lotu, czyli odległość pomiędzy miejscem skoku/wypadnięcia a miejscem upadku na ziemię (m);
 v_0 – pozioma prędkość liniowa w miejscu startu;
 H_0 – wysokość miejsca początku spadania (m);
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – przyspieszenie ziemskie.

Table I. Results of pedestrian motion speed studies (m/s) according to J. Strouhal, K. Kuhnel, and H. Hein
Tabela I. Wyniki badań prędkości ruchu pieszych (m/s) wg J. Strouhala, K. Kuhnela i H. Heina

Sex / Płeć	Age (years) Wiek (lata)	Sposób poruszania się			
		normal normalny	fast szybki	running bieg	rushing pędzenie
Men / Mężczyźni	20 – 35	1.3 – 1.7	1.9 – 2.3	2.9 – 3.9	5.2 – 7.2

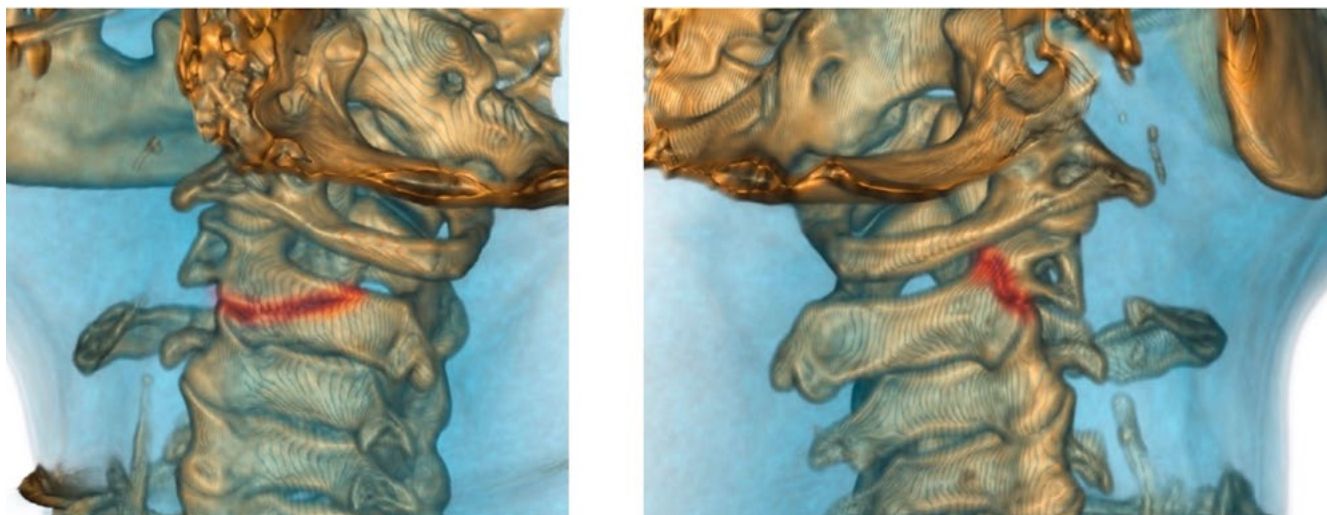


Figure 10. Bilateral fracture of the C2 vertebral arch, so-called hangman's fracture – 3D visualization obtained from post-production data of post-mortem computed tomography (PMCT)

Rycina 10. Obustronne złamanie łuku kręgu C2 tzw. złamanie wisielcze – wizualizacja 3D uzyskana w wyniku postprodukcji danych z pośmiertnej tomografii komputerowej (PMCT)



Figure 11. Point cloud visualization from the Geoportal service showing the approximate height of the fall (19.35 m) and the horizontal distance of the body from the building (7.5 m)

Rycina 11. Wizualizacja chmury punktów z serwisu Geoportal przedstawiająca orientacyjną wysokość upadku (19,35 m) i odległość poziomą ciała od budynku (7,5 m)

The obtained result was compared with the data on pedestrian speed (m/s) published by J. Strouhal, K. Kuhnelt, and H. Hein [19]. It was found that this speed falls within the range characteristic of running men aged 20–35 years (Table 1). These calculations are consistent with the witnesses' accounts, who indicated that the man took a run-up before the jump.

Discussion

The position of the body at the moment of first contact with the ground is crucial for the distribution of forces acting on the body. In victims of falls onto extended lower limbs, injuries to the plantar surfaces of the feet and fractures of the hind-foot (calcaneus or talus bones) are often observed. The transmission of absorbed injury energy along the long axis of the body can additionally lead to: fracture of the distal parts of the tibia (pilon fracture), compression of the epiphyses in the knee and ankle joints, displacement of half of the pelvis, femoral neck fracture, transverse fracture of the sacrum with bilateral vertical fractures of the iliac bones near the sacroiliac joints (faller's fracture), multi-level compression fractures of the vertebrae, and circular fracture of the skull base [20, 21].

Goonetilleke et al. observed that all victims (17 persons) of falls onto their feet sustained fractures of the bones of the lower limbs, with the majority of cases involving bilateral fractures. Only three of them had fractures of the foot bones, and in two of these cases, there were also tears of the skin in the heel area. In some cases, there were fractures of the femoral neck or head. They observed circular fractures of the skull base exclusively in persons who fell onto their feet or buttocks, and who also frequently had compression fractures of the vertebrae in the lower thoracic and lumbar regions [16].

De Haven was one of the first researchers to demonstrate that the structure of the ground on which a body falls significantly modifies the injury outcomes and, consequently, can affect survivability. High-hardness surfaces, such as concrete or asphalt, practically do not absorb the kinetic energy released at the moment of impact. In such cases, all the energy is absorbed by the tissues and bone structures, resulting in extensive multi-organ injuries, which, in the case of falls onto extended lower limbs, are distributed along the body's axis – e.g., compression fractures of the spine, pelvic fractures, and skull fractures [22].

Other extremely important factors affecting the severity of the injury are the height of the fall and body mass, as they are directly related to the body's velocity (height) and kinetic energy (body mass) at the moment of ground impact [23–25]. Research conducted by Casali et al. shows that with increasing height of the fall, the risk of multi-level injuries significantly grows. For falls from heights up to 6 meters, lower limb injuries

Uzyskany wynik porównano z danymi dotyczącymi prędkości ruchu pieszych (m/s), opublikowanymi przez J. Strouhala, K. Kuhnela i H. Heina [19]. Stwierdzono, że prędkość ta mieści się w przedziale charakterystycznym dla biegu mężczyzn w wieku 20–35 lat (tab. 1). Obliczenia te są zgodne z relacjami świadków, którzy wskazywali, że mężczyzna miał wziąć rozbieg przed skokiem.

Dyskusja

Pozycja ciała w momencie pierwszego kontaktu z podłożem ma kluczowe znaczenie dla rozkładu sił działających na ciało. U ofiar upadków na wyprostowane kończyny dolne często obserwuje się obrażenia podszwowych powierzchni stóp i złamania tylostopia (kości piętowej lub skokowej). Transmisja pochłoniętej energii urazu wzdłuż długiej osi ciała może ponadto doprowadzić do: złamania dalszych części piszczeli (*pilon fracture*), kompresji nasad kości w stawach kolanowych i skokowych, przemieszczenia połowy miednicy, złamania szyjki kości udowej, poprzecznego złamania kości krzyżowej z obustronnym pionowym złamaniem kości biodrowych w pobliżu stawów krzyżowo-biodrowych (*faller's fracture*), wielopoziomowego złamania kompresyjnego kręgow czy też okrężnego złamania podstawy czaszki [20, 21].

Goonetilleke i wsp. zaobserwowali, iż wszystkie ofiary (17 osób) upadków na stopy doznały złamań kości kończyn dolnych, przy czym w większości przypadków złamania te występowały obustronnie. Jedynie u trzech z nich doszło do złamania kości stóp, przy czym w dwóch obecne były także rozerwania powłok skórnych okolic pięt. W niektórych przypadkach obecne były złamania szyjki lub głowy kości udowej. Okrężne złamania kości podstawy czaszki zaobserwowali oni wyłącznie u osób spadających na stopy lub pośladki, u których również dość często występowały kompresyjne złamania kręgow dolnej części odcinka piersiowego oraz w odcinku lędźwiowym [16].

De Haven jako jeden z pierwszych badaczy wykazał, że struktura podłoża, na które upada ciało, znacząco modyfikuje skutki urazu, a tym samym może wpływać na przeżywalność. Powierzchnie o wysokiej twardości, takie jak beton czy asfalt, praktycznie nie absorbują energii kinetycznej uwalnianej w momencie uderzenia. W takich przypadkach całość energii zostaje pochłonięta przez tkanki i struktury kostne, co skutkuje rozległymi obrażeniami wielonarządowymi, które w sytuacji upadku na wyprostowane kończyny dolne rozlokowane są w obrębie osi ciała – np. złamania kompresyjne kręgosłupa, złamania miednicy i czaszki [22].

Innymi niezwykle istotnymi czynnikami wpływającymi na stopień ciężkości urazu są wysokość upadku i masa ciała, bowiem są bezpośrednio związane z prędkością ciała (wysokość) i energią kinetyczną (masa ciała) w momencie uderzenia o podłoże [23–25]. Z badań przeprowadzonych przez Casali

dominate, particularly fractures of the calcaneal bones, injuries to the ankle joints, and fractures of the distal parts of the tibiae. This is due to the fact that the impact force is primarily absorbed by the extended lower limbs, which cushion the fall. In the case of greater heights, especially above 10 meters, the forces acting on the body exceed the capacity for cushioning, leading to more extensive injuries such as pelvic fractures, multi-level spinal fractures, and internal organ injuries. Furthermore, an increase in the frequency of cranio-cerebral injuries is also observed [26]. Importantly, the height from which the fall occurred is also one of the most significant factors determining survivability. Studies indicate that falls from heights exceeding 10 meters (approximately the third floor) are associated with a much higher risk of mortality, which is directly related to the accumulation of kinetic energy that the body reaches at the moment of ground contact [5, 27, 28].

Another important factor determining the nature of injuries is the body's ability to absorb energy through soft tissues and elastic structures, which is in turn influenced by the victim's state of consciousness, as controlled tension of muscles or joint ligaments can partially reduce the force's impact [16, 22]. The effectiveness of this defensive mechanism, however, is limited in falls from greater heights when the injury energy exceeds the body's cushioning capacity [26]. Goren et al. emphasize that in such situations, the degree of ground stiffness also plays a crucial role – hard surfaces, like concrete, increase the risk of extensive damage [3].

According to Petaros et al., the bilateral distribution of fractures in the bones of the lower limbs is a characteristic feature of suicides [12]. This observation is confirmed by the results of our own study, which also showed that the frequency of injuries to the osteoarticular structures of the lower limbs, pelvis, and thorax was higher in the suicide group compared to the victims of accidental falls [23]. In 1985, Roy-Camille et al. introduced the term 'faller's fracture' to describe a transverse fracture of the sacrum, which, in their assessment, occurs only in cases of intentional falls [29]. Later studies showed that such injuries quite frequently occurred in victims of accidental falls as well [9, 27, 30].

Falls onto the feet, despite being associated with multiple injuries to the osteoarticular structures of the lower limbs, pelvis, and spine, can to some extent reduce the risk of serious cranio-cerebral or thoracic injuries [9, 10, 13]. In the analyzed case, although the fall occurred onto the feet, the height of the fall and the structure of the ground played a decisive role in causing fatal injuries. This suggests that at a certain level of kinetic energy resulting from the height and type of ground at the impact site, no compensatory mechanisms of the body are able to prevent severe cranio-cerebral injuries.

The case described here represents a rare example of the co-existence of multi-level injury syndrome typical of a fall from

i wsp. wynika, iż wraz ze wzrostem wysokości z jakiej nastąpił upadek istotnie rośnie ryzyko wystąpienia wielopoziomowych obrażeń. Przy upadkach z wysokości do 6 m dominują obrażenia kończyn dolnych, w szczególności złamania kości piętowych, obrażenia stawów skokowych oraz złamania dalszych części kości piszczelowych. Wynika to z faktu, iż siła uderzenia w pierwszej kolejności pochłaniana jest przez wyprostowane kończyny dolne, które amortyzują upadek. W przypadku większych wysokości, zwłaszcza powyżej 10 m, siły działające na ciało przekraczają możliwości amortyzacji, co prowadzi do rozleglejszych obrażeń, takich jak złamania kości miednicy, wielopoziomowe złamania kręgosłupa oraz obrażenia narządów wewnętrznych. Ponadto obserwuje się także wzrost częstości występowania obrażeń czaszkowo-mózgowych [26]. Co bardzo ważne, wysokość, z której doszło do upadku stanowi także jeden z najistotniejszych czynników determinujących przeżywalność. Z badań wynika, że upadki z wysokości przekraczające 10 m (około trzeciego piętra) wiążą się ze znacznie wyższym ryzykiem śmiertelności, co jest bezpośrednio związane z kumulacją energii kinetycznej, którą ciało osiąga w momencie kontaktu z podłożem [5, 27, 28].

Ważnym czynnikiem determinującym charakter urazów jest również zdolność ciała do absorbowania energii przez tkanki miękkie i struktury elastyczne, na co z kolei wpływ ma stan świadomości ofiary, bowiem kontrolowane napięcie mięśni czy też więzadeł stawowych może częściowo zredukować działanie siły [16, 22]. Efektywność tego mechanizmu obronnego jest jednak ograniczona przy upadkach z większych wysokości, gdy energia urazu przekracza możliwości amortyzacyjne organizmu [26]. Goren i wsp. podkreślają, że w takich sytuacjach kluczową rolę odgrywa również stopień sztywności podłoża – twarde powierzchnie, jak beton, zwiększają ryzyko rozległych uszkodzeń [3].

Obustronne rozmieszczenie złamań kości kończyn dolnych zdaniem Petarosa i wsp. jest cechą charakterystyczną dla zamachów samobójczych [12]. Obserwacja ta znajduje potwierdzenie w rezultatach pracy własnej, które ponadto wykazały, iż w grupie samobójstw występowała większa częstość obrażeń struktur kostno-stawowych kończyn dolnych, miednicy oraz klatki piersiowej w porównaniu z ofiarami nieszczęśliwych wypadków [23]. Roy-Camille i wsp. w 1985 r. wprowadzili termin „złamania samobójczego” (*faller's fracture*) określający poprzeczne złamanie kości krzyżowej występujące w ich ocenie tylko w przypadkach celowych upadków [29]. Prowadzone później badania wykazały, że obrażenia tego rodzaju dość często występowały także u ofiar nieszczęśliwych wypadków [9, 27, 30].

Upadki na stopy mimo, iż wiążą się z licznymi uszkodzeniami struktur kostno-stawowych kończyn dolnych, miednicy i kręgosłupa mogą w pewnym stopniu zmniejszać ryzyko poważnych obrażeń czaszkowo-mózgowych czy klatki piersiowej [9, 10, 13]. W analizowanym przypadku, choć upadek nastąpił na stopy, wysokość upadku oraz struktura podłoża odegrały decydującą rolę w powstaniu obrażeń śmiertelnych. Sugeruje to,

height, highlighting its uniqueness in the context of forensic medicine. Although each component – such as circular fracture of the skull base, numerous fractures of the lower limbs, compression fractures of the spine, and pelvic injuries – is commonly described as a characteristic marker of a fall from height, their simultaneous occurrence is relatively rare. Multifactorial conditions, such as the considerable height of the fall, the position of the body at the moment of first contact with the ground, and the nature of the ground, can promote the formation of this type of injury syndrome.

The use of modern geodetic tools, such as the point cloud view (3D) in the Geoportal service, provided significant insights supporting the analysis of fall mechanisms. The calculated linear velocity of the body (3.77 m/s) indicates an active phase of movement consistent with the witnesses' accounts, which allows for additional verification of the collected evidence. The presented method of using geodetic data can serve as an illustrative procedure for obtaining missing information about the topography of the incident site in other cases, not only related to falls from height.

In forensic practice, precise estimation of motion parameters, such as linear velocity and flight range, constitutes a crucial element in assessing event mechanisms. These results indicate the need to combine modern measurement methods with classical biomechanical models to increase the accuracy of event reconstruction. The findings from the analysis of this case also highlight that intentional actions, such as a run-up before a jump, can modify kinetic energy and fall dynamics, directly affecting the nature and extent of injuries.

This case provides valuable data on the interrelationships between various body injuries and their potential application, for example, in differentiating intentional actions from accidental falls. Such analysis not only deepens the understanding of injury mechanisms but also highlights the importance of a comprehensive diagnostic approach in forensic practice.

The presented case additionally emphasizes the significant role of post-mortem computed tomography, as it increases the accuracy of post-mortem diagnostics, especially in the assessment of body areas that are difficult to access through dissection [31, 32].

że przy pewnym poziomie energii kinetycznej wynikającej z wysokości jak rodzaju podłoża w miejscu upadku, żadne mechanizmy kompensacyjne organizmu nie są w stanie zapobiec ciężkim obrażeniom czaszkowo-mózgowym.

Opisywany przypadek stanowi rzadki przykład współistnienia zespołu wielopoziomowych obrażeń typowych dla upadku z wysokości, co podkreśla jego wyjątkowość w kontekście medycyny sądowej. Chociaż każdy z elementów składowych – takich jak okężne złamanie podstawy czaszki, liczne złamania kończyn dolnych, kompresyjne złamania kręgosłupa oraz uszkodzenia miednicy – jest powszechnie opisywany jako charakterystyczny marker upadku z wysokości, ich jednoczesne występowanie obserwowane jest stosunkowo rzadko. Wieloczynnikowe uwarunkowania, takie jak duża wysokość upadku, pozycja ciała w momencie pierwszego kontaktu z podłożem oraz charakter podłoża, mogą sprzyjać powstaniu tego typu zespołu obrażeń.

Wykorzystanie nowoczesnych narzędzi geodezyjnych, takich jak widok chmury punktów (3D) w serwisie Geoportal, dostarczyło istotnych wniosków wspierających analizę mechanizmów upadku. Obliczona prędkość liniowa ciała (3,77 m/s) wskazuje na aktywną fazę ruchu, zgodną z relacjami świadków, co pozwala na dodatkową weryfikację zebranych dowodów. Przedstawiony sposób wykorzystania danych geodezyjnych może służyć jako poglądowa procedura pozyskiwania brakujących informacji na temat topografii miejsca zdarzenia w innych przypadkach, nie tylko dotyczących upadków z wysokości.

W praktyce sądowo-lekarskiej precyzyjne oszacowanie parametrów ruchu, takich jak prędkość liniowa i zasięg lotu, stanowi istotny element oceny mechanizmów zdarzeń. Wyniki te wskazują na potrzebę łączenia nowoczesnych metod pomiarowych z klasycznymi modelami biomechanicznymi w celu zwiększenia dokładności rekonstrukcji przebiegu zdarzeń. Ustalenia wynikające z analizy niniejszego przypadku podkreślają również, że świadome działania, takie jak rozbieg przed skokiem, mogą modyfikować energię kinetyczną oraz dynamikę upadku, co ma bezpośredni wpływ na charakter i rozległość obrażeń.

Przypadek ten dostarcza więc cennych danych na temat wzajemnych relacji między poszczególnymi obrażeniami ciała oraz ich potencjalnego zastosowania np. w kontekście różnicowania intencjonalnych działań od przypadkowych upadków. Taka analiza pozwala nie tylko pogłębić wiedzę na temat mechanizmów urazów, ale również podkreśla znaczenie kompleksowego podejścia diagnostycznego w praktyce sądowo-lekarskiej.

Prezentowany przypadek uwydatnia ponadto istotną rolę pośmiertnej tomografii komputerowej, bowiem daje ona możliwość zwiększenia dokładności diagnostyki pośmiertnej, zwłaszcza w ocenie okolic ciała, do których dostęp sekcyjny jest utrudniony [31, 32].

Acknowledgments

I would like to sincerely thank Michał Tracz for his help in preparing the graphics, which significantly enriched this work.

Podziękowania

Pragnę serdecznie podziękować Michałowi Traczowi za jego pomoc w przygotowaniu grafik, które znacząco wzbogaciły tę pracę.

References | Piśmiennictwo

1. Komenda Główna Policji Statystyka Komendy Głównej Policji. Zamachy samobójcze. <https://statystyka.policja.pl/st/wybrane-statystyki/zamachy-samobojcze>
2. Atanasijevic TC, Popovic VM, Nikolic SD. Characteristics of chest injury in falls from heights. *Leg Med (Tokyo)*. 2009; 11 Suppl 1: 315-7
3. Goren S, Subasi M, Tyrasci Y, Gurkan F. Fatal falls from heights in and around Diyarbakir, Turkey. *Forensic Sci Int*. 2003; 137(1): 37-40.
4. Ruchholtz S, Nast-Kolb D, Waydhas C, Schweiberer L. The injury pattern in polytrauma. Value of information regarding accident process in clinical acute management. *Unfallchirurg*. 1996; 99(9): 633-41
5. Lau G, Ooi PL, Phoon B. Fatal falls from a height: the use of mathematical models to estimate the height of fall from the injuries sustained. *Forensic Science International*. 1998; 98: 33-44
6. Casali MB, Blandino A, Grignaschi S, Florio EM, Travaini G, Genovese UR. The pathological diagnosis of the height of fatal falls: A mathematical approach. *Forensic Sci Int*. 2019; 302: 109883
7. Fialka J. Estimation of the height of free fall of a human body on the basis of experimental expression of the degree of injury. *Soudni Lekarstvi*. 1990; 35(2): 22-32
8. Shaw KP, Hsu SY. Horizontal distance and height determining falling pattern. *J Forensic Sci*. 1998; 43(4): 765-71
9. Richter D, Hahn MP, Ostermann PA, Ekkernkamp A, Muhr G. Vertical deceleration injuries: a comparative study of the injury patterns of 101 patients after accidental and intentional high falls. *Injury*. 1996; 27(9): 655-9
10. Teh J, Firth M, Sharma A, Wilson A, Reznick R, Chan O. Jumpers and Fallers: a Comparison of the Distribution of Skeletal Injury. *Clinical Radiology*. 2003; 58(6): 482-6
11. Teresiński G. Różnicowanie samobójstw, zabójstw i przypadkowych upadków z wysokości. W: Teresiński G. *Medycyna Sądowa, Tanatologia i traumatologia sądowa*. Tom 1. Warszawa. PZWL 2019, s. 810-15
12. Petaros A, Slaus M, Coklo M, Sosa I, Cengija M, Bosnar A. Retrospective analysis of free-fall fractures with regard to height and cause of fall. *Forensic Sci Int*. 2013; 226(1-3): 290-5
13. Lowenstein SR, Yaron M, Carrero R, Devereux D, Jacobs LM. Vertical trauma: Injuries to patients who fall and land on their feet. *Ann Emerg Med*. 1989; 18(2): 161-5
14. Velmahos GC, Demetriades D, Theodorou D, Cornwell EE, 3rd, Belzberg H, Asensio J, et al. Patterns of injury in victims of urban free-falls. *World J Surg*. 1997; 21(8): 816-21
15. Buckman RF, Buckman PD. Vertical Deceleration Trauma: Principles of Management. *Surg Clin North Am*. 1991; 71(2): 331-44
16. Goonetilleke UK. Injuries caused by falls from heights. *Med Sci Law*. 1980; 20(4): 262-75
17. <https://www.geoportal.gov.pl>
18. Teresiński G, Unarski J, Wach W. Kinematyka spadania z wysokości. W: Teresiński G. *Medycyna Sądowa, Tanatologia i traumatologia sądowa*. Tom 1. Warszawa. PZWL 2019, s. 796-805
19. Wierciński J, Reza A. Prędkość ruchu pieszych. W: *Medycyna Sądowa, Tanatologia i traumatologia sądowa*. Tom. Kraków. PZWL 2006, s. 855-61
20. Teresiński G. Upadki z wysokości. W: Teresiński G. *Medycyna Sądowa, Tanatologia i traumatologia sądowa*. Tom 1. Warszawa. PZWL 2019, s. 789-95
21. Buckman RF, Jr., Buckman PD. Vertical deceleration trauma. Principles of management. *Surg Clin North Am*. 1991; 71(2): 331-44
22. De Haven H. Mechanical analysis of survival in falls from heights of fifty to one hundred and fifty feet. 1942. *Inj Prev*. 1942; 6(1): 62-8
23. Cywka T. Sądowo-lekarska ocena okoliczności śmiertelnych upadków z wysokości [Dissertation]. Lublin: Medical University of Lublin; 2023
24. Gill JR. Fatal descent from height in New York City. *J Forensic Sci*. 2001; 46(5): 1132-7
25. Simonsen J. Injuries sustained from high-velocity impact with water after jumps from high bridges. A preliminary report of 10 cases. *Am J Forensic Med Pathol*. 1983; 4(2): 139-42
26. Casali MB, Battistini A, Blandino A, Cattaneo C. The injury pattern in fatal suicidal falls from a height: an examination of 307 cases. *Forensic Sci Int*. 2014; 244: 57-62
27. Isbister ES, Roberts JA. Autokabalesis: a study of intentional vertical deceleration injuries. *Injury*. 1992; 23(2): 119-22

28. Risser D, Bonsch A, Schneider B, Bauer G. Risk of dying after a free fall from height. *Forensic Sci Int.* 1996; 78(3): 187-91
29. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Transverse Fracture of the Upper Sacrum: Suicidal Jumper's Fracture. *Spine (Phila Pa 1976).* 1985; 10: 838-45
30. Lewis WS, Lee AB, Grantham SA. "Jumpers syndrome": The Trauma of High Free Fall as Seen at Harlem Hospital. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 1965; 5(6): 812-8
31. Moskala A, Wozniak K, Kluza P, Romaszko K, Lopatin O. Usefulness of post mortem computed tomography versus conventional forensic autopsy of road accident victims (drivers and passengers). *Arch Med Sadowej Kryminol.* 2017; 67(2): 91-103
32. Borowska-Solonyanko A, Prokopowicz V. Transverse process fractures of the thoracic vertebrae-the significance of this injury in the context of medicolegal opinions on high-energy trauma cases. *Int J Legal Med.* 2020; 134(4): 1431-40

Date:

date of submission | data nadesłania: **08.01.2025**

acceptance date | data akceptacji: **17.02.2025**

Corresponding author:

dr Tomasz Cywka

Katedra i Zakład Medycyny Sądowej,

ul. Doktora Kazimierza Jacewskiego 8b

20-090 Lublin

e-mail: tomek.cywka@gmail.com

ORCID:

Tomasz Cywka 0000-0002-6748-384X