



Praca oryginalna
Original paper

Grzegorz Teresiński, Anna Milaszewicz, Tomasz Cywka

Analiza zależności stopnia ciężkości obrażeń ciała od wysokości upadku u śmiertelnych ofiar upadków z wysokości

An analysis of the relationship between bodily injury severity and fall height in victims of fatal falls from height

Katedra i Zakład Medycyny Sądowej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie, Polska
Chair and Department of Forensic Medicine, Medical University in Lublin, Poland

Streszczenie

Cel pracy: Jednymi z podstawowych problemów poruszanych w piśmiennictwie dotyczącym upadków z wysokości są kwestie ustalania wysokości, z jakiej spadła ofiara, oraz różnicowania między upadkiem samobójczym a upadkiem będącym skutkiem nieszczęśliwego wypadku. Celem niniejszej pracy było zweryfikowanie opracowanych dotąd metod służących ocenie wspomnianych okoliczności zdarzenia na potrzeby opiniowania sądowo-lekarskiego.

Materiał i metody: Przedmiotem badań objęto śmiertelne ofiary upadków z wysokości, których sekcje zwłok zostały przeprowadzone w Zakładzie Medycyny Sądowej w Lublinie. Podobnie jak autorzy poprzednich prac, przy ocenie ciężkości obrażeń posłużono się skalą *Abbreviated Injury Scale* (AIS) oraz indeksem *Injury Severity Score* (ISS).

Wyniki: Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano m.in. istotną statystycznie korelację między wysokością upadku a stopniem ciężkości urazu wyrażonej przez ISS, a także istotną statystycznie różnicę wysokości upadków pomiędzy ocenianymi grupami nieszczęśliwych wypadków i samobójstw.

Słowa kluczowe: upadek z wysokości, samobójstwo, nieszczęśliwy wypadek, *Abbreviated Injury Scale*, *Injury Severity Score*, opiniowanie sądowo-lekarskie.

Abstract

Aim of the study: One of the basic issues discussed in forensic literature regarding falls from a height is determination of fall heights and differentiation between suicidal and accidental falls. The aim of the study was to verify the usefulness of the available methods for the purposes of forensic expertises.

Material and methods: The study encompassed fatalities of falls from a height whose autopsies were performed in the Department of Forensic Medicine in Lublin.

Results: Similarly to other authors, the severity of injuries was assessed using the abbreviated injury scale (AIS) and injury severity score (ISS). The study findings demonstrated a statistically significant correlation between the fall height and the severity of injuries according to ISS and a statistically significant difference in fall heights between the groups of accidents and suicides.

Key words: fall from a height, suicide, accident, *Abbreviated Injury Scale*, *Injury Severity Score*, forensic expertise.

Wprowadzenie

W przeszłości opublikowano liczne prace na temat następstw upadków z wysokości, zagadnienie to rozpatrywane było w wielu różnych aspektach, a ich autorami byli głównie specjaliści spoza obszaru medycyny sądowej. Dostępne piśmiennictwo zawiera np. dane na temat śmiertelności ofiar różnego rodzaju upadków, skuteczności leczenia osób, które przeżyły upadek, a także opisy upadków na zróżnicowane podłoża [1–3]. W kręgu zainteresowań medycyny sądowej znajdują się przede wszystkim kwestie możliwości oceny okoliczności zdarzenia, w szczególności tych przypadków, w których zgon nastąpił wskutek upadku na twarde i nieodkształcalne podłoże. Dlatego też istnieje potrzeba wypracowania metod, które pomogą odtwarzać sytuacje, w jakich doszło do upadku z wysokości. Tego rodzaju analizy podejmowane we wcześniejszych latach mogą obecnie okazać się pomocne w opiniowaniu sądowo-lekarskim. Jednym z pierwszych autorów takiej publikacji był G. Berghaus, który w 1978 r. opracował 14-stopniową skalę służącą do odróżnienia przypadków samobójstw od nieszczęśliwych wypadków [4]. Późniejsze badania Rissera i wsp. wykazały, że grupę samobójców cechowały wyższe wysokości upadków niż grupę ofiar nieszczęśliwych wypadków [5]. Inni autorzy oceniali stopień korelacji wysokości upadku i ciężkości obrażeń ciała skalowanych za pomocą indeksu ISS (*Injury Severity Score*) [6–8].

Cel pracy

Celem niniejszej pracy była weryfikacja wspomnianych wyżej doniesień na temat związku między ciężkością obrażeń ciała a wysokością, z jakiej nastąpił upadek, a także między wysokością upadku a jego przyczyną – samobójstwem lub nieszczęśliwym wypadkiem.

Materiał i metody

Materiał stanowiły wyniki badań pośmiertnych ofiar upadków z wysokości, przeprowadzonych w latach 2008–2012 w Zakładzie Medycyny Sądowej w Lublinie, które skonfrontowano z danymi z akt postępowań udostępnionych przez prokuratury rejonowe. Wszystkie badania przeprowadzono z wykorzystaniem poszerzonej techniki sekcyjnej obejmującej dodatkowe warstwowe preparowanie grzbietu, karku i całej długości kończyn dolnych z otwarciem dużych

Introduction

A number of articles on the consequences of falls from height have been published. Many different aspects of the issue have been discussed, and most authors are specialists in disciplines other than forensic science. For instance, currently available literature contains data on the mortality of victims of various kinds of falls treatment efficiency of survivors, as well as descriptions of falls on various impact surfaces [1–3]. From the forensic perspective, the most important aspects are those allowing one to assess the circumstances of the event, in particular in those cases where death was caused by impact on a hard and unrelenting surface. Therefore it is necessary to develop methods allowing one to reconstruct the circumstances accompanying falls from height. Such analyses undertaken in the past may now be helpful in presenting forensic expert opinions. One of the first authors of such a paper was G. Berghaus. In 1978 he developed a 14-point scale for differentiating suicides from accidents [4]. Subsequent research by Risser *et al.* indicated that suicides were linked to greater heights than accidents [5]. Other authors assessed the degree of correlation between fall height and injury severity measured by means of the ISS (*Injury Severity Score*) [6–8].

Objective

The objective of this paper was to verify the aforementioned reports on the relationship between injury severity and fall height, as well as that between fall height and its underlying cause (suicide or accident).

Material and methods

Research material consisted of the results of post mortem examinations of fall victims conducted from 2008 to 2012 at the Forensic Medicine Unit in Lublin, Poland. The results were compared against case files disclosed by regional prosecutor offices. All examinations were carried out using extended post mortem techniques including additional layer-by-layer dissection of the back, the neck and the lower extremities (all over their length) with the opening of major joints

stawów oraz wykonaniem przekrojów nasad kości [9]. Założono, że upadek z wysokości jest upadkiem wolnym (tzw. *free fall*), czyli takim, w trakcie którego ciało spadającej osoby nie natrafia na żadną przeszkodę aż do momentu zetknięcia z podłożem, wysokość upadku wynosi co najmniej 2 m oraz jest to upadek na twarde i płaskie podłoże. Pominięto przypadki padania z tzw. własnej wysokości oraz upadki ze schodów. Kryteria te spełniło 41 osób (32 mężczyzn oraz 9 kobiet) w wieku 18–83 lat. Na podstawie analizy akt postępowań prokuratorskich ustalono, że w badanej grupie było 15 nieszczęśliwych wypadków i 26 samobójstw, a wysokość upadku wynosiła 2–30 m (co odpowiada poziomowi 1.–10. piętra).

Obrażenia stwierdzone u każdej z ofiar wstępnie kodowano za pomocą skali AIS (*Abbreviated Injury Scale*), czyli tzw. skróconej skali ciężkości obrażeń, która jest narzędziem wykorzystywanym m.in. w badaniach biomechanicznych i medycynie ratunkowej do określania stopnia ciężkości obrażeń (punktacja od 1 do 6) i mającym wartość rokowniczą (informuje o zagrożeniu życia związanym z doznanymi obrażeniami ciała). Pierwsza wersja tej skali powstała w 1969 r., a następnie była kilkakrotnie uaktualniana, przy czym do obecnych badań wykorzystano najczęściej stosowaną rewizję skali AIS z 1998 r. [10]. Na jej podstawie wyznaczano maksymalne wartości AIS (maks. AIS = MAIS) w dziewięciu arbitralnie wyznaczonych regionach ciała. Następnie obliczano indeks ISS (*Injury Severity Score*), opracowany w 1974 r. [11], będący sumą kwadratów maksymalnych wartości AIS w trzech najbardziej kontuzjowanych spośród sześciu regionów ciała. Do obliczenia wartości ISS jest więc wymagany podział ciała na sześć (a nie na dziewięć jak w AIS) regionów, tj. głowa i szyja, twarz, klatka piersiowa, brzuch, kończyny i miednica oraz obrażenia powłok zewnętrznych.

Statystycznej analizie danych dokonano za pomocą testów nieparametrycznych (test Kołmogorowa-Smirnowa, test Walda-Wolfowitza, test *U* Manna-Whitneya).

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że nie występuje istotna statystycznie korelacja między wysokością upadku a MAIS w pojedynczym regionie ciała w grupach samobójstw i nieszczęśliwych wypadków (ryc. 1.). Nie stwierdzono też istotnej staty-

and cross sections of bone epiphyses [9]. It was assumed that a fall from height should be a so-called free fall, i.e. one without any transient impact preceding the final impact, where fall height is at least 2 m and the impact surface is solid and flat. Falls from one's own height and falls from stairs were excluded from the analysis. These criteria were met by 41 victims (32 male and 9 female), aged 18 to 83. An analysis of prosecution files indicated that the group included 26 suicides and 15 deaths by accident, and fall heights ranged from 2 to 30 m, corresponding to 1 to 10 floors.

Injuries sustained by every victim were preliminarily coded by means of the Abbreviated Injury Scale (AIS), used for instance in biomechanical research and in emergency medicine for determining injury severity (score from 1 to 6). The AIS is also a prognostic tool that indicates death risks related to sustained injuries. The first version of the scale was developed in 1969 and was subsequently updated on a few occasions. For the present research, the most common revision of the AIS from 1998 was used [10]. On that basis the maximum AIS scores were determined (max AIS = MAIS) in nine arbitrarily selected body regions. Subsequently the Injury Severity Score (ISS) (developed in 1974 [11]) was calculated, being the sum of the squares of maximum AIS scores in three most severely injured body regions (out of a total of six such regions). Therefore, to calculate the ISS it is necessary to identify six (unlike nine in the case of the AIS) regions of the body, i.e. head and neck, chest, abdomen, limbs and pelvis, external.

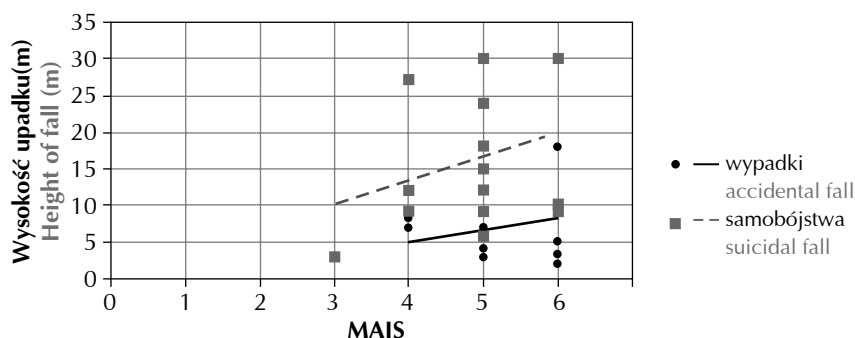
Statistical data analysis was performed using nonparametric tests (Kolmogorov-Smirnov test, Wald-Wolfowitz test, Mann-Whitney *U* test).

Results

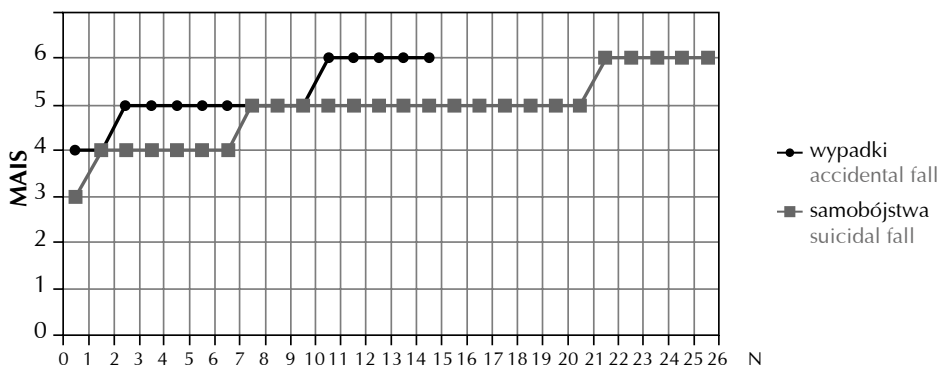
An analysis of the material demonstrated that there is no statistically significant correlation between fall height and the maximum AIS score (MAIS) in a single body region in the suicide and accident groups (Fig. 1). Similarly, no statistically significant difference between MAIS scores in the suicide and accident groups (Fig. 2) was found. However, when the injury severity of the entire body (rather than its individual regions)

stycznie różnicy wartości MAIS w grupie samobójców i nieszczęśliwych wypadków (ryc. 2.). Przy uwzględnieniu stopnia ciężkości urazu całego ciała (a nie tylko danego regionu) wyrażonego przez ISS stwierdzono natomiast (odmiennie niż w przypadku MAIS) istotną statystycznie korelację z wysokością upadku ($r = 0,50$, $p = 0,001$) (ryc. 3). Porównanie grupy samobójstw i nieszczęśliwych wypadków wykazało istotną statystycznie różnicę wysokości upadków ($p < 0,001$) (ryc. 4.), lecz brak istotnej statystycznie różnicy wartości ISS między tymi grupami (ryc. 5.).

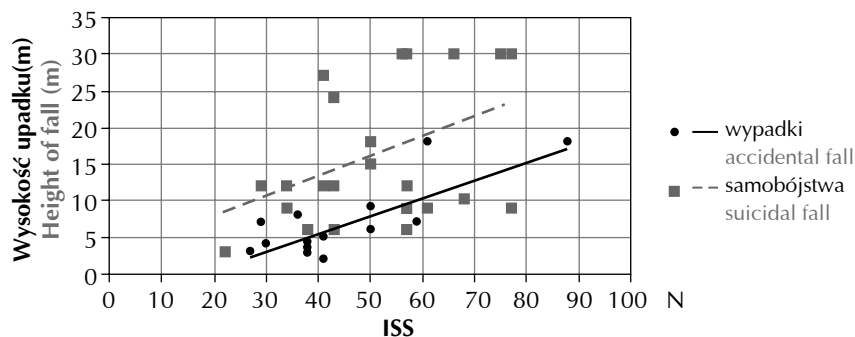
expressed by means of the ISS was taken into account, it was found (unlike for MAIS) that a statistically significant correlation exists with the fall height ($r = 0.50$, $p = 0.001$) (Fig. 3). By comparing the suicide group to the accident group it was concluded that a statistically significant difference of fall heights exists ($p < 0.001$) (Fig. 4), but there is no statistically significant difference between ISS scores for both groups (Fig. 5).



Ryc. 1. Zależność maksymalnej wartości AIS (MAIS) od wysokości upadku
 Fig. 1. Relationship between maximum AIS (MAIS) and fall height

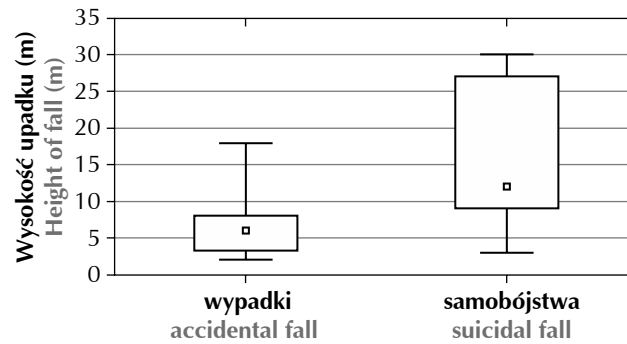


Ryc. 2. Maksymalna wartość AIS (MAIS) w grupach nieszczęśliwych wypadków i samobójstw
 Fig. 2. Maximum AIS (MAIS) in the accident and suicide groups

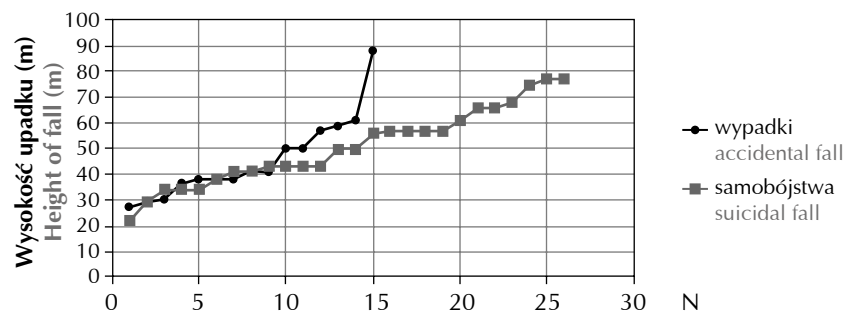


Ryc. 3. Zależność wartości ISS od wysokości upadku
 Fig. 3. Relationship between ISS and fall height





Ryc. 4. Wysokość upadku w grupach nieszczęśliwych wypadków i samobójstw
Fig. 4. Fall heights in the accident and suicide groups



Ryc. 5. Wartość ISS w grupach nieszczęśliwych wypadków i samobójstw
Fig. 5. ISS score in the accident and suicide groups

Omówienie i wnioski

Znajomość rodzaju i ciężkości obrażeń ciała osoby będącej ofiarą upadku z wysokości stwarza możliwość weryfikacji danych na temat tej wysokości, a także określenia przybliżonej wysokości upadku, gdy jest ona w ogóle nieznaną. Ponadto znajomość wysokości upadku może posłużyć do orientacyjnego określenia przyczyny jego zapoczątkowania (czy był to nieszczęśliwy wypadek czy też samobójstwo).

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na weryfikację wcześniejszych doniesień w odniesieniu do zależności ciężkości obrażeń ciała od wysokości upadku, a także do metod różnicowania upadku samobójczego z przypadkowym na podstawie wysokości upadku. Z dotychczas opublikowanych prac wynika, że już od wartości ISS poniżej 30 dość regularnie występują obrażenia śmiertelne przy upadkach z wysokości rzędu kilku – kilkunastu metrów, przy czym w momencie gdy wartość ISS osiąga 50, prawie zawsze

Discussion and conclusions

Information about the type and severity of bodily injury in fall victims makes it possible to verify fall height data or to approximately determine such height, if otherwise unknown. Furthermore, by knowing the fall height one can approximately determine the immediate cause of the fall (accident vs. suicide).

The research results allowed the author to verify earlier reports on the relationship between bodily injury severity and fall height, as well as those on the methods of differentiating suicide falls from accidental falls on the basis of fall height. Previously published reports indicated that starting from any ISS score below 30 fatal injuries rather regularly accompany falls from a height between a few and less than twenty meters; if the ISS score is 50, the fall is nearly always fatal, which is also true about falls from heights

następuje zgon i podobnym skutkiem kończą się upadki z wysokości powyżej 30 m [8]. Pojawiały się tylko nieliczne przypadki nieoczekiwanych przeżyć w grupie osób, które teoretycznie powinny ponieść śmierć, a także nieoczekiwanych zgonów w przypadku osób, co do których spodziewano się przeżycia (spowodowane to było najprawdopodobniej dodatkowymi obciążeniami, np. w postaci chorób przewlekłych) [8]. Przy ISS ≥ 50 występowały tylko pojedyncze przypadki przeżyć [6], a wartość ISS równa 30 stanowi jakby granicę między strefami śmierci i przeżywalności upadku [7]. To historyczne spostrzeżenie znajduje potwierdzenie w obecnych badaniach, ponieważ niemal we wszystkich przypadkach ISS było większe od 30. We wcześniejszych publikacjach stwierdzono także, że w grupie osób, które przeżyły upadek, występowały głównie obrażenia kończyn i miednicy, a w grupie śmiertelnych ofiar przeważały obrażenia głowy i/lub klatki piersiowej [8], co również obserwowano w analizowanej grupie przypadków.

Poszukiwaniem zależności między wysokością upadku a rodzajem obrażeń ciała, ich rozległością oraz częstością ich występowania zajmowali się również Atanasijevic i wsp. Dowiedli, że nie można precyzyjnie ustalić wysokości upadku wyłącznie na podstawie stopnia ciężkości urazu wyrażonej w skali ISS, a co najwyżej określić przybliżoną wysokość upadku na podstawie rodzaju obrażeń ciała [12], zwłaszcza w obrębie klatki piersiowej, ponieważ ich liczba właśnie w tym regionie ciała rośnie wraz ze wzrostem wysokości upadku. Stwierdzili ponadto, że obrażenia głowy są charakterystyczne dla upadku z wysokości mniejszej niż 7 m oraz większej od 30 m, a choć częstość występowania obrażeń narządów jamy brzusznej wzrasta wraz z wysokością upadku, to nie ma istotnej statystycznie korelacji między tymi wartościami [13, 14].

Skala ISS została ponadto wykorzystana przez Lau i wsp. jako jeden z parametrów wieloczynnikowej metody ustalania wysokości upadku wyrażonej przedziałami wysokości HB [15]. Z kolei Fialka, opracowując własną metodę ustalania wysokości śmiertelnego upadku z wysokości, zrezygnował z klasycznych metod skalowania obrażeń i opracował własny indeks nasilenia obrażeń [16], jednak ta metoda ma w praktyce ograniczoną przydatność, ponieważ nie została dotąd zweryfikowana żadnymi innymi badaniami.

W sądowno-lekarskiej ocenie okoliczności zdarzenia należy pamiętać, że poza wysokością upadku i rodzajem podłoża, na które spada ofiara, charakter i roz-

greater than 30m [8]. There have been only a few cases of unexpected survival in the group of people who theoretically should have died, as well as some cases of unexpected deaths of people who were expected to survive (in such cases some additional factors, such as a chronic disease, most probably contributed to the victim's death) [8]. With ISS ≥ 50 there have been only a few isolated cases of survival [6], and the ISS score of 30 constitutes a kind of a borderline between death and survival in falls from height [7]. This historical observation is confirmed by the present research because in nearly all cases the ISS score was above 30. In earlier publications it was also found that survivors mostly sustained limb and pelvis injuries, whereas fatalities usually sustained head and/or chest injuries [8]. Again, this observation was true for the currently analyzed group of cases.

Among the authors who searched for the relationship between fall height and the nature of bodily injuries, their severity and frequency, were Atanasijevic *et al.* They demonstrated that it was not possible to precisely determine the fall height exclusively on the basis of the ISS. It is only possible to determine an approximate fall height on the basis of bodily injury [12], particularly in the chest area, as the prevalence of chest injuries grows in line with the fall height growth. Those authors also found that head injuries are characteristic for falls from heights below 7 m or above 30 m; furthermore, while the frequency of abdominal organ injuries grows in line with the fall height, there is no statistically significant correlation between those parameters [13, 14].

The ISS was also used by Lau *et al.* as one of the parameters in a multi-factor method of determining fall heights expressed by means of height bands (HB) [15]. In his turn, Fialka developed his own method of determining the fatal fall height. In doing so, he chose not to use classical injury scoring methods and proposed his own injury severity index [16]. However, his method is of limited practical relevance because so far it has not been verified by any other studies.

A forensic assessment of an event must take into account that the fall height and the impact surface type are not the only factors affecting the nature and severity of sustained injury (and thus the chance of survival). Other factors in-

ległość obrażeń ciała (a tym samym szanse przeżycia) zależą także od pozycji ciała w momencie zapoczątkowania lotu oraz w momencie kontaktu z podłożem, reakcji obronnych i napięcia mięśniowego (zależnych od stanu świadomości), przebiegu lotu, a także od wieku, masy ciała oraz osobniczo zmiennych właściwości tkanek ciała ofiary [2, 7, 17–20]. Konieczne jest kontynuowanie badań na większej grupie przypadków w celu poszukiwania nowych markerów biomechanicznych, które ułatwią różnicowanie okoliczności upadków z wysokości oraz ocenę wysokości upadku.

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

clude initial and final body position, defensive reactions and muscular tension (which depends on the victim's state of mind), fall trajectory, as well as the victim's age, weight and individually variable properties of bodily tissues [2, 7, 17–20]. Therefore, it is necessary to continue research on a larger group of cases in order to search for new biomechanical markers that will make it easier to differentiate the circumstances of falls and the estimation of the fall height.

The authors declare no conflict of interest.

Piśmiennictwo

References

1. Aufmkolk M, Voggenreiter G, Majetschak M, Neudeck F, Schmit-Neuerburg KP, Obertacke U. Injuries due to falls from a considerable height. A comparative analysis from injuries and clinical course after international or accidental fall. *Unfallchirurg* 1999; 102: 525-530.
2. Lapostolle F, Gere C, Borron SW, Petrovic T, Dallemagne F, Beruben A, Lapandry C, Adnet F. Prognostic factors in victims of falls from height. *Crit Care Med* 2005; 33: 1239-1242.
3. Lukas GM, Hutton Jr JE, Lim RC, Matthewson Jr C. Injuries sustained from high velocity impact with water: an experience from the Golden Gate Bridge. *J Trauma* 1981; 21: 612-618.
4. Berghaus G. Mathematic-statistical discrimination between suicide and accident in falls from height (author's transl). *Zeitschrift fur Rechtsmedizin*. *Legal Med* 1978; 80: 273-286.
5. Risser D, Bonsch A, Schneider B, Bauer G. Risk of dying after a free fall from height. *Forensic Sci Int* 1996; 78: 187-191.
6. Bostman OM. Suicidal attempts by jumping from heights. A three-year prospective study of patients admitted to an urban university accident department. *Scand J Soc Med* 1987; 15: 199-203.
7. Isbister ES, Roberts JA. Autokabalesis: a study of intentional vertical deceleration injuries. *Injury* 1992; 23: 119-122.
8. Beale JP, Wyatt JP, Beard D, Busuttill A, Graham CA. A five year study of high falls in Edinburgh. *Injury, Int J Care Injured* 2000; 31: 503-508.
9. Teresiński G, Mądro R. Evidential value of injuries useful for reconstruction of the pedestrian – vehicle location at the moment of collision. *Forensic Sci Int* 2002; 128: 127-135.
10. The Abbreviated Injury Scale, Association for the Advancement of Automotive Medicine. Revision 2005, update 2008.
11. Baker SP, O'Neill B, Haddon W. The Injury Severity Score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma* 1974; 14: 187-196.
12. Atanasijevic T, Nikolic S, Djokic V. Level of total injury severity as a possible parameter for evaluation of height in fatal falls. *Srp Arh Celok Lek* 2004; 132: 96-98.
13. Atanasijevic T, Savic SN, Nikolic SD, Djokic VM. Frequency and severity of injuries in correlation with the height of fall. *J Forensic Sci* 2005; 50: 608-612.
14. Atanasijevic T, Popovic VM, Nikolic SD. Characteristics of chest injury in falls from heights. *Legal Med* 2009; 11: S315-S317.
15. 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 Sci Int* 1998; 93: 33-44.
16. Fialka J. Estimation of the height of free fall of a human body on the basis of experimental expression of the degree of injury. *Soud Lek* 1990; 35: 22-32.
17. Gupta SM, Chandra J, Dogra TD. Blunt force lesions related to the heights of a fall. *Am J Forensic Med Pathol* 1982; 3: 35-43.
18. Goren S, Subasi M, Tyrasci Y, Gurkan F. Fatal falls from heights in and around Diyarbakir, Turkey. *Forensic Sci Int* 2003; 137: 37-40.
19. Fujiwara S. Studies on injuries in the dead of the free-falls from heights. *Jpn Legal Med* 1981; 35: 285-303.
20. Christensen AM. The influence of behavior on free fall injury patterns: possible implications for forensic anthropological investigations. *J Forensic Sci* 2004; 49: 5-10.

Adres do korespondencji

Anna Milasziewicz
Katedra i Zakład Medycyny Sądowej
Uniwersytet Medyczny w Lublinie
ul. Jaczewskiego 8B
20-090 Lublin, Polska
e-mail: anna.milasziewicz@umlub.pl

Address for correspondence

Anna Milasziewicz
Chair and Department of Forensic Medicine
Medical University in Lublin
Jaczewskiego 8B
20-090 Lublin, Poland
e-mail: anna.milasziewicz@umlub.pl