



archiwum medycyny sądowej i kryminologii

Praca oryginalna
Original paper

Anna Milaszkiewicz, Tomasz Cywka, Grzegorz Teresiński

Weryfikacja użyteczności metody określania wysokości śmiertelnych upadków opracowanej przez Lau i wsp. Verification of usefulness of the method for determining the height of fatal falls proposed by Lau *et al.*

Katedra i Zakład Medycyny Sądowej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Polska
Chair and Department of Forensic Medicine, Medical University of Lublin, Poland

Streszczenie

Niniejsze doniesienie stanowi kontynuację naszych poprzednich badań nad ustalaniem wysokości śmiertelnych upadków i dotyczy weryfikacji metody opracowanej przez Lau i wsp. Grupę badaną rozszerzono do 109 osób, a wysokość upadku każdej z ofiar wyliczono za pomocą wzoru matematycznego opracowanego przez Lau i wsp. Obliczone wg wspomnianego wzoru wysokości upadków istotnie (w 72,5% przypadków) różniły się od rzeczywistych wysokości, co wskazuje na ograniczoną wiarygodność ocenianej metody.

Słowa kluczowe: upadki z wysokości, wypadki śmiertelne, samobójstwo, wysokość upadku, analiza wielowariantowa, liniowa regresja wieloraka.

Abstract

The present report is a follow-up to our previous studies on the determination of the height of fatal falls, and it is focused on the verification of the method developed by Lau *et al.* The study group was extended to a total of 109 individuals, and the height of fall of each victim was calculated using the mathematical formula put forward by Lau *et al.* The heights of falls calculated with the formula referred to above were significantly different (in 72.5% of cases) from the actual heights, which points to limited reliability of the method under evaluation.

Key words: falls from height, fatal accidents, suicide, height of fall, multivariate analysis, multiple linear regression.

Wstęp

W ostatnim czasie w *Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii* opublikowano dwie prace z naszego ośrodka poświęcone badaniom nad ustalaniem wysokości śmiertelnych upadków [1, 2]. Niniejsze doniesienie stanowi kontynuację poprzed-

Introduction

Recently, two papers reporting studies conducted at our research centre to determine the height of fatal falls have been published in *Archives of Forensic Medicine and Criminology* [1, 2]. The current report is a follow-up to earlier studies, and it

nich badań z wykorzystaniem poszerzonej grupy przypadków przeanalizowanych zgodnie ze wzorem zaproponowanym przez Lau i wsp. Metoda ta jest zaawansowanym sposobem ustalania wysokości upadku, opracowanym w 1998 r. w Singapurze na podstawie analizy 416 śmiertelnych ofiar upadków ze znanej wysokości w przedziale wiekowym 3–95 lat. Ma ona formę wzoru matematycznego wskazującego jeden z pięciu przedziałów wysokości upadku (HB) przy uwzględnieniu wieku ofiary, indeksu ISS (*Injury Severity Score*) oraz obecności bądź braku obrażeń wybranych narządów o określonym stopniu ciężkości wyrażonym w skali AIS (*Abbreviated Injury Scale*) [3].

Celem niniejszej pracy była weryfikacja wzoru matematycznego skonstruowanego przez Lau i wsp.

Materiał i metody

Materiał do badań stanowiły wyniki oględzin i sekcji zwłok ofiar upadków z wysokości, które przeprowadzono w latach 1997–2015 w Zakładzie Medycyny Sądowej w Lublinie, a następnie skonfrontowano z danymi z akt postępowań udostępnionych przez prokuratury rejonowe. Wszystkie badania wykonano z wykorzystaniem poszerzonej techniki sekcyjnej obejmującej dodatkowe warstwowe preparowanie grzbietu, karku i kończyn dolnych z otwarciem dużych stawów oraz wykonaniem przekrojów nasad kości udowych i piszczelowych [4]. 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. Pominęto przypadki upadania z własnej wysokości oraz upadki ze schodów. Kryteria te spełniło 109 osób w wieku od 16 do 84 lat. Na podstawie analizy akt postępowań prokuratorskich ustalono, że wysokości upadku mieściły się w przedziale od 2 do 30 m (co odpowiada poziomowi 1.–10. piętra).

Wzór matematyczny wielorakiej regresji liniowej stworzony przez Lau i wsp. przedstawia się następująco [3]:

$$HB = k - k_a A + k_i I + k_b B + k_c C + k_l L + k_p P + k_r R + k_s S + k_t T + k_v V,$$

gdzie:

HB – przedział wysokości upadku,

involves an analysis of an extended group of cases performed according to the formula proposed by Lau *et al.* The formula is an advanced method of determining the height of fall. It was developed in Singapore in 1998 based on a review of 416 victims of fatal falls from known heights in the age range of 3–95 years. It is a mathematical formula indicating one of the five ranges of fall height (height bands, HB) taking into account the age of the victim, the ISS index (*Injury Severity Score*), and the presence or absence of injuries with a specified severity expressed in the AIS scale (*Abbreviated Injury Scale*) in selected organs [3].

The aim of this study was to verify the mathematical formula elaborated by Lau *et al.*

Material and methods

The study material comprised the results of body examinations and autopsies of victims of falls from a height which were performed in the Department of Forensic Medicine in Lublin in 1997–2015. The results were compared with data derived from appropriate case files obtained from regional prosecutor offices. All the examinations were performed according to an extended autopsy protocol which included additional layered dissection of the back, nape of the neck and lower extremities with the opening of large joints, and the preparation of cross-sections of femoral and tibial heads [4]. It was assumed that falls from a height are cases of “free fall”, in which the body of a falling person does not encounter any obstacles until it comes into contact with the ground, the minimum height of the fall is 2 m, and victims land on a hard and flat surface. Cases of falls from own height and falls down the stairs were excluded from the analysis. The study criteria were met by a total of 109 persons aged 16 to 84 years. An analysis of case files compiled in the course of prosecution proceedings showed that the height of fall ranged from 2 to 30 m (equivalent to the height of floors 1 to 10).

The mathematical formula of multiple linear regression originally put forward by Lau *et al.* takes the following form [3]:

$$HB = k - k_a A + k_i I + k_b B + k_c C + k_l L + k_p P + k_r R + k_s S + k_t T + k_v V,$$

where:

HB – height band,

A – wiek ofiary w latach,

I – jeden z sześciu arbitralnie wyznaczonych przedziałów (ISSB) stopnia nasilenia obrażeń w skali ISS.

Obrażeniom mózgu (*B*), serca lub zastawek (*C*), wątroby (*L*), miednicy (*P*), nerek (*R*), śledziony (*S*), aorty piersiowej (*T*) oraz kręgosłupa i rdzenia kręgowego (*V*) nadano punktację 0 lub 1 w zależności od stopnia ciężkości w skali AIS:

B = 1 dla AIS ≥ 4, 0 dla AIS < 4 (**brain extrusions/lacerations**),

C = 1 dla AIS ≥ 3, 0 dla AIS < 3 (**myocardial/valvular ruptures/lacerations**),

L = 1 dla AIS ≥ 3, 0 dla AIS < 3 (**liver ruptures/lacerations**),

P = 1 dla AIS ≥ 3, 0 dla AIS < 3 (**pelvic girdle fractures**),

R = 1 dla AIS ≥ 3, 0 dla AIS < 3 (**renal ruptures/lacerations**),

S = 1 dla AIS ≥ 3, 0 dla AIS < 3 (**splenic ruptures/lacerations**),

T = 1 dla AIS ≥ 4, 0 dla AIS < 4 (**thoracic aortic ruptures/lacerations/transection**),

V = 1 w razie obecności obrażenia, 0 przy jego nieobecności (**vertebral/spinal cord injuries**).

Poszczególnym składowym zostały nadane określone współczynniki wagowe *k* (w nawiasie podano 95% przedziały ufności wg oryginalnej koncepcji Lau i wsp.):

$k = 1,88 (1,42-2,34)$,

$k_a = 0,01 (0,008-0,02)$,

$k_i = 0,10 (0,00-1,97)$,

$k_b = 2,59 (0,50-4,65)$,

$k_c = 0,30 (0,07-5,43)$,

$k_l = 0,77 (0,54-1,00)$,

$k_p = 0,28 (0,08-0,49)$,

$k_r = 0,31 (0,07-0,54)$,

$k_s = 0,30 (0,08-0,52)$,

$k_t = 0,15 (0,02-0,28)$,

$k_v = 0,40 (0,20-0,60)$.

Obrażenia stwierdzone u każdej ofiary klasyfikowano do jednego z sześciu regionów: głowa i szyja, twarz, klatka piersiowa, brzuch, kończyny i miednica oraz obrażenia powłok zewnętrznych, a następnie kodowano za pomocą skali AIS z 1998 r. [5]. Na tej podstawie wyznaczano maksymalne wartości AIS (maks. AIS – MAIS) we wspomnianych obszarach ciała. Następnie obliczano indeks będący sumą kwadratów maksymalnych wartości AIS w trzech najbardziej kontuzjowanych regionach ciała [6]. Ob-

A – victim age in years,

I – one of six bands (ISSB) arbitrarily designated for the severity of injuries in the ISS scale.

Injuries to the brain (*B*), heart or valves (*C*), liver (*L*), pelvis (*P*), kidneys (*R*), spleen (*S*), thoracic aorta (*T*), and vertebral column and spinal cord (*V*) were assigned a score of 0 or 1 depending on their level of severity in the AIS scale:

B = 1 for AIS ≥ 4, 0 for AIS < 4 (**brain extrusions/lacerations**),

C = 1 for AIS ≥ 3, 0 for AIS < 3 (**myocardial/valvular ruptures/lacerations**),

L = 1 for AIS ≥ 3, 0 for AIS < 3 (**liver ruptures/lacerations**),

P = 1 for AIS ≥ 3, 0 for AIS < 3 (**pelvic girdle fractures**),

R = 1 for AIS ≥ 3, 0 for AIS < 3 (**renal ruptures/lacerations**),

S = 1 for AIS ≥ 3, 0 for AIS < 3 (**splenic ruptures/lacerations**),

T = 1 for AIS ≥ 4, 0 for AIS < 4 (**thoracic aortic ruptures/lacerations/transection**),

V = 1 if the injury was present, 0 if absent (**vertebral/spinal cord injuries**).

Specific weighting factors *k* were assigned to respective components (95% confidence intervals derived from the original concept by Lau *et al.* are given in brackets):

$k = 1.88 (1.42-2.34)$,

$k_a = 0.01 (0.008-0.02)$,

$k_i = 0.10 (0.00-1.97)$,

$k_b = 2.59 (0.50-4.65)$,

$k_c = 0.30 (0.07-5.43)$,

$k_l = 0.77 (0.54-1.00)$,

$k_p = 0.28 (0.08-0.49)$,

$k_r = 0.31 (0.07-0.54)$,

$k_s = 0.30 (0.08-0.52)$,

$k_t = 0.15 (0.02-0.28)$,

$k_v = 0.40 (0.20-0.60)$.

The injuries found in each victim were classified according to one of six body regions, i.e. head and neck, face, chest, abdomen, extremities and pelvis, and external integuments, and then coded using the AIS of 1998 [5]. On that basis, maximum AIS values (max AIS – MAIS) were determined for the body regions enumerated above. Next, the ISS index was calculated, representing the sum of squares of the maximum AIS values in the three most injury-affected regions of the body [6]. The calculated ISS

liczone wartości ISS agregowano do następujących przedziałów liczbowych:

ISS ≤ 14 \rightarrow ISSB 1,
ISS 16–26 \rightarrow ISSB 2,
ISS 27–36 \rightarrow ISSB 3,
ISS 38–48 \rightarrow ISSB 4,
ISS 50–59 \rightarrow ISSB 5,
ISS 66–75 \rightarrow ISSB 6.

Po podstawieniu wszystkich wartości do powyższego wzoru ostatecznie otrzymano cyfrę odpowiadającą konkretnemu przedziałowi wysokości:

HB < 1 \rightarrow H < 10 m,
HB = 2 \rightarrow H = 10–20 m,
HB = 3 \rightarrow H = 20–30 m,
HB = 4 \rightarrow H = 30–40 m,
HB ≥ 5 \rightarrow H = 40–70 m.

Ostatnim etapem badań było porównanie otrzymanych wyników z rzeczywistą wysokością upadku znaną z akt sprawy.

Wyniki

Tylko w 30 przypadkach na 109 (27,5%) rzeczywista wysokość upadku mieściła się w przedziale wysokości (HB) obliczonym wg wzoru opracowanego przez Lau i wsp. W 16 przypadkach (14,7%) różnica między rzeczywistą wysokością upadku a górną/dolną granicą obliczonego wg wzoru przedziału wysokości wynosiła nie więcej niż 5 m, natomiast w 63 przypadkach (57,8%) różnica ta wynosiła ponad 5 m (nawet do 38 m).

Obliczone wg wzoru Lau i wsp. wysokości upadków w zdecydowanej większości przekraczały rzeczywiste wysokości, a różnica ta była zdecydowanie najwyraźniej zaznaczona przy najmniejszych wysokościach upadków.

Dyskusja i wnioski

Po przeprowadzeniu badań i skonstruowaniu wzoru matematycznego Lau i wsp. samodzielnie dokonali jego ograniczonej walidacji, wykorzystując do tego 20 niewyselekcjonowanych przypadków o znanej wysokości upadku ze swojej grupy badawczej. W 13 przypadkach na 20 (65%) rzeczywista wysokość upadku mieściła się w przedziale wysokości (HB) obliczonym wg wzoru. W 4 przypadkach (20%) różnica między rzeczywistą wysokością upadku a górną/dolną granicą obliczonego wg

values were aggregated in the following numerical ranges:

ISS ≤ 14 \rightarrow ISSB 1,
ISS 16–26 \rightarrow ISSB 2,
ISS 27–36 \rightarrow ISSB 3,
ISS 38–48 \rightarrow ISSB 4,
ISS 50–59 \rightarrow ISSB 5,
ISS 66–75 \rightarrow ISSB 6.

The substitution of all values in the above formula ultimately yielded numbers corresponding to the defined height ranges:

HB < 1 \rightarrow H < 10 m,
HB = 2 \rightarrow H = 10–20 m,
HB = 3 \rightarrow H = 20–30 m,
HB = 4 \rightarrow H = 30–40 m,
HB ≥ 5 \rightarrow H = 40–70 m.

The final stage of the study involved a comparison of the obtained results with the actual fall heights which were known from the review of the victims' case files.

Results

The actual height of fall was within the height band (HB) calculated using the formula developed by Lau *et al.* in only 30 out of 109 cases (27.5%). In 16 cases (14.7%) the difference between the actual height of fall and the upper/lower limit of the height band determined using the formula given above did not exceed 5 m, and in 63 cases (57.8%) the difference between the actual height of fall and the upper/lower limit of the calculated height band was larger than 5 m, even reaching 38 m.

The fall heights calculated with the formula developed by Lau *et al.* were, for the most part, larger than the actual heights, and the difference was particularly marked in the lowest heights of fall.

Discussion and conclusions

Upon completion of their studies and development of the mathematical formula, Lau *et al.* themselves performed its limited validation on the basis of 20 unselected cases with known heights of fall taken from their study group. The actual height of fall was within the height band (HB) calculated using the formula in 13 out of 20 cases (equivalent to 65%). In 4 cases (20%) the difference between the actual height of fall and the upper/lower limit of the height band determined using the formula did not

wzoru przedziału wysokości wynosiła nie więcej niż 5 m. W 3 przypadkach (15%) różnica ta wynosiła ponad 5 m [3].

Analiza porównawcza przeprowadzona na własnym materiale wykazała zdecydowanie niższe współczynniki wartości predykcyjnej ocenianej metody w porównaniu z oryginalnymi wynikami uzyskanymi przez Lau i wsp. (tab. I, ryc. 1). Metoda ta nie była dotychczas weryfikowana przez innych autorów, a mimo to uwzględniano ją jako sposób okreś-

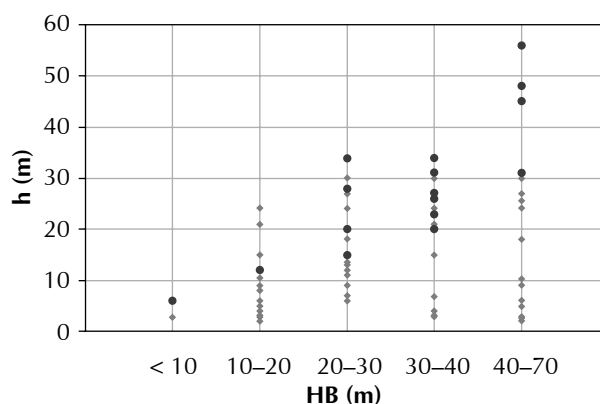
ceed 5 m, and in 3 cases (15%) the difference between the actual height of fall and the upper/lower limit of the height band calculated with the formula was larger than 5 m [3].

A comparative analysis carried out on our own study material showed significantly lower coefficients of the predictive value of the evaluated method compared to the original results reported by Lau *et al.* (Table I, Fig. 1). Even though the method by Lau *et al.* had not been previously verified by oth-

Tabela I. Rezultaty walidacji metody Lau i wsp. z wykorzystaniem oryginalnych danych opublikowanych przez autorów ocenianego sposobu wnioskowania oraz materiału własnego

Table I. Results of validation of the method proposed by Lau *et al.* using original data reported by the authors of the evaluated method of inference and our own study material

Parametr Parameter	Dane z pracy Lau i wsp. Data reported by Lau <i>et al.</i> <i>n</i> = 20 (wybrane z 416 / selected from 416)	Analiza własnych przypadków Analysis of our cases <i>n</i> = 109
Wiek ofiar (lata) Age of victims (years)	3–95	16–84
Wysokość upadku (m) Height of fall (m)	3–69.6	2–30
Porównanie rzeczywistej i obliczonej wysokości upadku, <i>n</i> (%) Comparison of actual and calculated heights of fall, <i>n</i> (%)		
zgodność przedziałów concordance of ranges	13 (65)	30 (27.5)
różnica nieprzekraczająca 5 m difference not exceeding 5 m	4 (20)	16 (14.7)
różnica ponad 5 m difference exceeding 5 m	3 (15)	63 (57.8)



- Wyniki uzyskane przez Lau i wsp. / Results obtained by Lau *et al.*
- ◊ Wyniki uzyskane na własnym materiale / Results obtained for our study material

Ryc. 1. Porównanie zgodności przedziałów (HB) obliczonych metodą Lau i wsp. z rzeczywistymi wysokościami upadków (h)

Fig. 1. Comparison of the concordance of height bands (HB) calculated using the method proposed by Lau *et al.* and actual fall heights (h)

lania wysokości upadku w podręcznikach z zakresu medycyny sądowej [7, 8]. Wyniki aktualnych badań wskazują na generalnie niską wiarygodność oceniającej metody, której praktyczna przydatność nie przewyższa metod określania wysokości śmiertelnego upadku na podstawie ciężkości obrażeń ciała [1, 9].

Być może przeprowadzenie dalszych badań na znacznie większej grupie przypadków pozwoliłoby na zwiększenie skuteczności metody Lau i wsp. przez weryfikację współczynników k wchodzących w skład indeksu ważonego. Konieczne jest również poszukiwanie alternatywnych sposobów ustalania wysokości upadku, dostosowanych do specyfiki tego rodzaju zdarzeń w rodzimej populacji. Takie badania powinna poprzedzać weryfikacja innych opublikowanych sposobów wnioskowania w tym zakresie, które nie doczekały się jeszcze praktycznej walidacji. Przykład stanowi metoda zaproponowana przez Teh i wsp. [10], której ocena będzie przedmiotem oddzielnej publikacji w ramach cyklu badań ukierunkowanych na ustalanie okoliczności śmiertelnych upadków z wysokości.

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

er authors, it was included in forensic medicine textbooks as a means of determining the height of fall [7, 8]. The findings of current studies provide evidence to conclude that the evaluated method is characterized by low reliability. In fact, its practical usefulness is not superior to methods of determining the height of fatal falls which are based on the severity of bodily injuries [1, 9].

Perhaps further research investigating a considerably larger number of cases would improve the effectiveness of the method proposed by Lau *et al.* through verification of the k factors included in the weighted index. Also, it is necessary to look for alternative methods of determining the height of fall, adjusted to the specific nature of such incidents in a given native population. Such studies should be preceded by the verification of other published methods of inference addressing this aspect which have not been validated in practice yet. One of the examples is the method put forward by Teh *et al.* [10] which will be evaluated in a separate paper to be published as part of a series of studies oriented toward determining the circumstances of fatal falls from a height.

The authors declare no conflict of interest.

Piśmiennictwo

References

1. Teresiński G, Milaszkiwicz A, Cywka T. Analiza zależności stopnia ciężkości obrażeń ciała od wysokości upadku u śmiertelnych ofiar upadków z wysokości. Arch Med Sąd Kryminol 2016; 66: 133-140.
2. Teresiński G, Cywka T, Milaszkiwicz A. Ocena możliwości różnicowania przyczyn śmiertelnych upadków z wysokości przy użyciu skali Berghausa. Arch Med Sąd Kryminol 2016; 66: 141-148.
3. 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.
4. 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.
5. Gennarelli TA, Wodzin E; Association for the Advancement of Automotive Medicine. The Abbreviated Injury Scale 2005, update 2008. Barrington (Ill) 2008.
6. 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.
7. Türk EE. Fatal falls from height. In: Forensic pathology reviews, vol. 5. Tsokos M (ed.). Humana Press, Totowa 2008: 25-38.
8. Lau G. Falls from height, physical findings in adults. In: Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine, vol. 2. Byard R, Payne-James J, Corey T, Henderson C (eds.). Elsevier, Amsterdam-Boston 2005; 310-319.
9. Kusior ME, Pejka K, Knapik M, Sajuk N, Kłapocz S, Konopka T. Analiza charakteru obrażeń u ofiar upadków z wysokości. Arch Med Sąd Kryminol 2016; 66: 106-124.
10. Teh J, Firth M, Sharma A, Wilson A, Reznick R, Chan O. Jumpers and fallers: a comparison of the distribution of skeletal injury. Clin Radiol 2003; 58: 482-486.

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

Nadesłano: 27.02.2019

Zaakceptowano: 15.04.2019

Address for correspondence

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

Submitted: 27.02.2019

Accepted: 15.04.2019

