

**Mirella CIEŚLIK, Magdalena KALWARSKA, Sylwia ŁAGAN**, Instytut Mechaniki Stosowanej, Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska, Kraków

## **BIOMECHANIKA ZDERZENIA Z PIESZYM A EKSPERTYZA WYPADKU DROGOWEGO**

Streszczenie. Artykuł obejmuje zagadnienia dotyczące biomechaniki zderzenia pojazdu z pieszym oraz urazów powypadkowych w odniesieniu do ekspertyzy wypadku drogowego. Celem pracy jest wskazanie związku urazowości pieszego z przebiegiem zdarzenia drogowego. Wykazanie zależności pomiędzy rodzajem urazu a czynnikami biorącymi udział w zdarzeniu pozwala określić parametry mające znaczący wpływ na rekonstrukcję okoliczności zdarzenia.

### **1. WSTĘP**

Wypadki drogowe są istotnym problemem społecznym, a rekonstrukcja ich przebiegu stanowi interdyscyplinarne zagadnienie angażujące doświadczenie i wiedzę specjalistów w zakresie prawa, medycyny i biomechaniki [2]. Na podstawie informacji uzyskanych z analizy obrażeń pieszego możliwe jest rozpatrywanie trzech zagadnień: prędkości pojazdu w chwili zderzenia, kierunku przechodzenia pieszego oraz kształtu nadwozia. Badanie mechanizmu powstania obrażeń u ofiar wypadków drogowych może stanowić podstawę do rekonstrukcji i prawnej oceny okoliczności wypadku. Zdarzenie ze skutkiem śmiertelnym lub ciężkim uszczerbkiem na zdrowiu wymaga określenia jego przebiegu oraz przyczyn w celu wskazania sprawcy.

### **2. METODYKA BADAŃ**

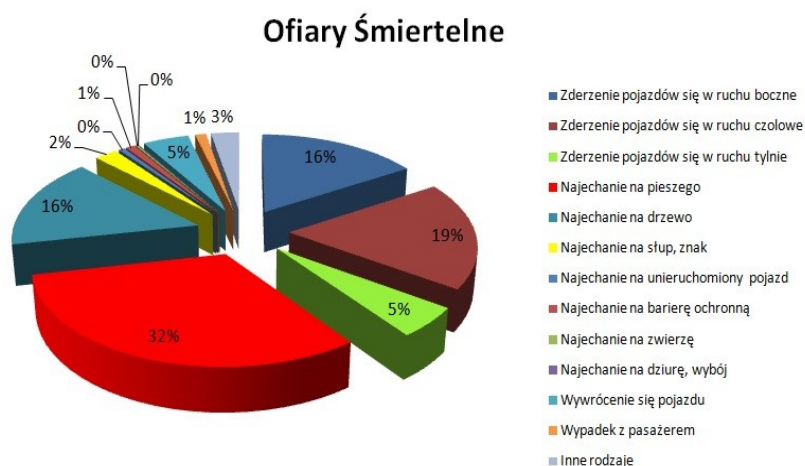
Wnioskowanie oparte na pośmiertnej diagnostyce ofiar wypadków drogowych stanowi złożony proces intelektualny odtworzenia ciągu zdarzeń w funkcji czasu. Analizy opierają się głównie o badanie urazów stawów, kości miednicy, kręgosłupa szyjnego, ocenę charakteru złamań trzonów kości długich, obrażeń głowy i tułowia z punktu widzenia ciała jako biomechanicznego układu.

#### **2.1. Epidemiologia wypadków drogowych z udziałem pieszych**

Policyjne statystyki z roku 2009 mówią, iż największy odsetek wypadków komunikacyjnych stanowią te z udziałem pieszych i wynosi on 28 [%]. Ponadto najwięcej ofiar śmiertelnych, bo aż 32 [%], stanowią piesi (rys.1).

Miejscami, w których najczęściej dochodzi do wypadków z udziałem pieszych są przejścia oraz skrzyżowania. Nie tylko z winy kierujących pojazdem dochodzi do sytuacji niepożądanych, przyczyną często jest niewłaściwe zachowanie się samych pieszych. Odnotowano niemal 3,5 tys. wypadków spowodowanych nieostrożnym wejściem na jezdnię,

582 przypadki przekraczania jezdni w miejscu niedozwolonym oraz 408 wtargnięć na czerwonym świetle [4].



Rys. 1. Procentowy rozkład ofiar śmiertelnych ze względu na rodzaj zdarzenia

Skala problemu w oparciu o policyjne statystyki ukazuje jak ważnym jest przeprowadzenie prawidłowej ekspertyzy wypadku drogowego. Szczególnie w przypadku śmiertelnych ofiar wypadków oraz osób z trwałym kalectwem niezbędne jest poznanie etiologii urazów (pierwotnych i wtórnych) w odniesieniu do zmian kształtu nadwozia pojazdu i ich wpływu na charakter obrażeń, co pozwala uzyskać istotne w ocenie parametry zdarzenia [1,2,3].

## 2.2. Mechanizm powstawania urazów w zderzeniu pieszego z pojazdem

Najczęstszym przypadkiem omawianego problemu jest uderzenie w kończynę dolną pieszego, natomiast kierunek, w którym ono następuje zależy od geometrii pojazdu, przy czym uwzględnić należy wzrost pieszego, który ma jednak mniejsze znaczenie w przypadku nadwozia skrzynkowego i klinowego.

W zderzeniu pieszego z pojazdem wyróżnia się kilka faz:

- 1) Faza kontaktu - przewożenia pieszego przez samochód. Pieszy, zgodnie z ustawieniem przedniej części karoserii, odchyła się od pionu. Środek masy pieszego przemieszcza się w kierunku ruchu samochodu, który przebywa w tym czasie określoną odległość.
- 2) Faza lotu - zależna od prędkości samochodu, jego wymiarów i rodzaju nadwozia. Występują w niej cztery warianty:
  - a) dla samochodu z nadwoziem klinowym następuje podrzut pieszego na znaczną wysokość tak, że samochód przejeżdża pod nim, a on upada za pojazdem,
  - b) dla samochodu z nadwoziem pontonowym wysokość podrzutu jest mniejsza, natomiast w górnym obszarze kabiny wystąpić może jedno lub kilka kolejnych uderzeń tak, że pieszy spadnie na jezdnię za lub przed pojazdem,
  - c) dla samochodu z nadwoziem skrzynkowym w wyniku uderzenia pieszy zostaje odrzucony do przodu,
  - d) dla samochodu z nadwoziem trapezowym wystąpić może wariant a) lub b),
- 3) Faza sunięcia – przemieszczania się po nawierzchni. W fazie tej pieszy doznaje obrażeń wtórnych.

Wypadki w których biorą udział piesi ze względu na częstotliwość występowania oraz tragiczne skutki powinny stać się najlepiej zbadaną i opracowaną grupą wypadków. Problem stanowi również niezwykle duże zróżnicowanie charakteru obrażeń i przebiegu samego

zdarzenia. Podejście do tego zagadnienia powinno być dwukierunkowe: indywidualne rozpatrywanie przypadku oraz modelowanie wielowariantowych schematów zdarzeń.

Wyróżnić możemy kilka podstawowych schematów przebiegu zdarzeń:

- 1) potrącenie pieszego pojazdem z odrzuceniem, upadkiem oraz uderzeniem o podłoże,
- 2) potrącenie z odrzuceniem i wtórnym najechaniem lub przejechaniem ofiary, z opcją wleczenia ciała przez pojazd,
- 3) pełne uderzenie pieszego bez hamowania – z czterema wariantami: wiezienie ciała na masce i upadek przed pojazdem, upadek z boku pojazdu, przerzucenie ciała ponad dachem samochodu oraz upadek z boku po zderzeniu narożnikowym. Przy prędkości 100-125 [km/h] może dojść do amputacji kończyn, rozległych obrażeń ciała i charakterystycznych rozstępów urazowych w okolicach pachwin.
- 4) przejechanie – jednym kołem lub przez kolejne koła, z opcją wleczenia ciała przez pojazd,
- 5) inne przypadki – niezliczona ilość kombinacji.

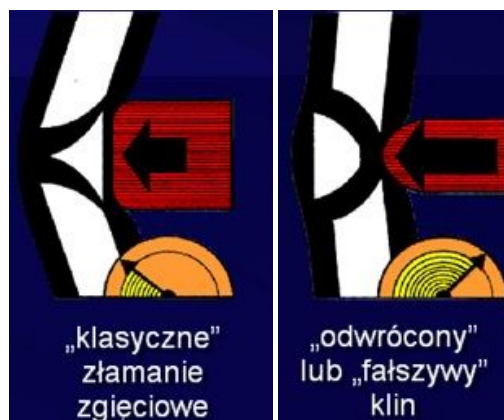
Na charakter obrażeń prócz samego schematu zdarzenia mają wpływ czynniki tj.:

- cechy osobnicze pieszego: wiek, wzrost, waga ciała, ubiór, choroby,
- rodzaj pojazdu, jego prędkość oraz reakcja hamowania.

Uwzględniając charakter obrażeń rekonstrukcja zdarzenia przebiega w kierunku ustalenia pozycji pieszego w momencie kolizji oraz rozróżnienia obrażeń powstałych w poszczególnych fazach wypadku.

Ze względu na sposób kontaktu maski pojazdu z pieszym wyróżnić możemy trzy schematy: kolizja czołowa, narożnikowa oraz styczna (kolizja styczna występuje w przypadku uderzenia wystającą częścią pojazdu, które powoduje nadanie ciała rotacji wokół osi pionowej).

Informacji na temat wysokości działania urazu oraz strony ciała, z której działał mogą dostarczyć „zderzakowe” urazy kończyn. Należy uwzględnić obniżenie poziomu zderzaka spowodowane dociążeniem przodu samochodu w trakcie hamowania. Występują tu nie tylko charakterystyczne złamania kości, jak również stłuczenia mięśni, przy czym w 35 [%] są one izolowane (niewidoczne na powierzchni ciała). Często krwawe podbiegnięcia obserwuje się pod powięziami, tłumacząc ich występowanie kształtem i gładką powierzchnią zderzaków. Charakter obrażeń w obrębie tkanek miękkich zmieniają złamania kości. Rana szarpana, leżąca na wysokości złamania kości, powstaje wtórnie od odłamów kostnych i najczęściej znajduje się po stronie przeciwnej niż działał uraz [5]. Mogą wystąpić charakterystyczne złamania kości długich tj. klinowe złamanie kości z trójkątnym odłamek, z wierzchołkiem zwróconym zgodnie z kierunkiem działania urazu. Jego boki są łukowato wygięte w stronę podstawy. Ten typ złamania wynika z rurowej budowy trzonu kości długiej. Ponadto obecnie można zaobserwować przypadki tzw. „fałszywych” klinów, odwróconych przeciwnie.



Rys.1. Zderzakowe złamania kończyn [3]

Poszerzona technika sekcjna wykazać może zmiany w obrębie stawów kolanowych, nasad dalszych kości udowych oraz bliźszej nasady kości piszczelowej, których lokalizacja może dostarczyć cennych informacji rekonstrukcyjnych.

Istnienie powyższych urazów, złamań „zderzakowych” oraz stłuczeń mięśni, nie może być wykorzystane do określenia prędkości pojazdu, jednakże wykazuje czy pieszy znajdował się w pozycji pionowej. Dodatkowo można oprzeć się o występowanie obrażeń pośladeków, uwzględniając, iż mogły one powstać w obu fazach. Uzupełnieniem informacji dostarczonych ze złamań „zderzakowych” są urazy kości miednicy. U pieszych w podeszłym wieku dochodzi do złamań w obrębie kręgosłupa, miednicy i żeber.

Ze względu na niejednorodność okręgu miednicy obserwuje się charakterystyczne typy złamań:

- 1) z kierunku tylnio-bocznego – złamanie „ześlizgowe” górnej gałęzi kości łonowej, przebiegające skośnie, w pobliżu stawu biodrowego,
- 2) z kierunku przednio-bocznego – pionowe złamanie górnej gałęzi kości łonowej po stronie urazu, przebiegające w pobliżu i równoległe do spojenia łonowego.

Pozostałe urazy miednicy nie są tak charakterystyczne i pozostają bez związku z kierunkiem działania siły.

Obrażenia głowy zazwyczaj występują w drugiej fazie wypadku, w następstwie uderzenia o twarde podłoże lub przedmioty znajdujące się na poboczu. Najcięższe urazy głowy występują w przypadku rotacji ciała, gdy osią obrotu są stopy. Kiedy dochodzi do przejechania pieszego istotnym znaczeniem dla biegłego jest wykazanie czy wcześniej nastąpiło potrącenie oraz jakie urazy powstały w pierwszej fazie zdarzenia. W przypadku przejechania osoby leżącej na jezdni dochodzi do ciężkich obrażeń klatki piersiowej, jamy brzusznej i zmiżdżenia tkanek, rzadko do uszkodzeń kręgosłupa, miednicy, kończyn czy głowy. Często następuje oderwanie skóry od powięzi lub mięśni i wytworzenie szczeliny w obrębie tkanki podskórnej, tzw. „décollement”. Napięcie skóry powoduje powstanie rozstępów naskórka w postaci pasa poprzecznie przebiegających prążków. Zdarzają się rany szarpane lub ślady oparzenia od rury wydechowej. Istotną wartość rekonstrukcyjną mają zarysy bieżnika kół odcisnięte na skórze. W przypadku najechania kołem na głowę następuje pęknięcie skóry w okolicy małżowiny usznej, którego umiejscowienie zależne jest od ustawienia głowy. Pęknięcia kości czaszki następują na kierunku działania sił.

Skutek śmiertelny jest regułą przy prędkości powyżej 80 [km/h], natomiast obrażenia pierwotne są cięższe niż wtórne dla 20-25 [km/h]. Często złamanie kręgosłupa następuje dla ok. 70 [km/h], rozerwanie aorty piersiowej powyżej 85 [km/h], rany darte zaś w okolicach pachwin powyżej 95 [km/h].

### 2.3. Modelowanie zderzenia pieszego z pojazdem

Celem rekonstrukcji zderzenia pieszego z pojazdem może być oszacowanie kierunku przechodzenia pieszego, sposobu uderzenia pieszego (część przednia nadwozia lub naroże) oraz prędkość pojazdu w chwili zderzenia. Najczęściej występującym jest uderzenie pieszego zorientowanego tyłem lub bokiem do zderzaka, który jako najbardziej wystający element jest miejscem pierwszego zetknięcia pieszego z samochodem.

Dzięki wykorzystaniu zasad mechaniki tworzone są modele matematyczne, jednakże mogą być one wykorzystane jedynie w szczególnych przypadkach, kiedy to są spełnione założenia upraszczające.

Pomocnym narzędziem w ekspertyzie wypadku drogowego jest test zderzeniowy z pieszym. Odbywa się on przy prędkości 40 [km/h]. Na przednią maskę samochodu wstrzeliwuje się elementy aparatury pomiarowej odpowiadające nogom (podudziom), udom i głowie pieszego (rozdzielenie na dorosłego lub dziecko).

### 3. WYNIKI BADAŃ

Przytoczone przykłady obrażeń w konkretnych przypadkach zdarzeń drogowych, należy rozpatrywać pod względem: obrażeń sugerujących kierunek przechodzenia pieszego, przetoczenia się ciała pod kołami pojazdu, usytuowanie oraz pozycję pieszego względem pojazdu, wystąpienie wtórnego przejechania.

W przypadku potrącenia pieszego (średniego wzrostu) przednią częścią samochodu osobowego (o typowym nadwoziu pontonowym) uderzenie następuje znacznie poniżej środka ciężkości ofiary (z reguły na wysokości bliższych części goleni poniżej kolan). Siła bezwładności (zwrócona przeciwnie do wektora prędkości pojazdu) determinuje sposób przemieszczania ciała w poszczególnych fazach zdarzenia, a tym samym sposób patologicznej dyslokacji oraz mechanizm obrażeń w obrębie stawów skokowych i kolanowych.

Obrażenia mogące świadczyć o potrąceniu pieszego:

1) W pozycji wyprostnej z lewej strony:

- lewe kolano od strony bocznej - złamanie kłykcia bocznego piszczeli z rozległym wylewem śródkostnym i obniżeniem powierzchni stawowej oraz oderwanie tylnego przyczepu więzadła krzyżowego przedniego,
- prawe kolano od strony przyśrodkowej - wylewy śródkostne w zakresie przyśrodkowego kłykcia piszczeli oraz uszkodzenia przyczepów obu więzadeł krzyżowych,
- podwójne pionowe złamanie miednicy po stronie lewej (rozerwanie lewego stawu krzyżowo-biodrowego i złamania obu gałęzi lewej kości łonowej z uchwytnym przemieszczeniem lewej połowy miednicy w stronę prawą) oraz złamanie dystalnej części trzonu prawej kości udowej (z wydzieleniem klinowatego odłamu pośredniego o ostrym wierzchołku skierowanym w stronę boczną a bokach wklęsłych względem podstawy, która zwrócona była w stronę przyśrodkową), złamania górnych żeber po stronie prawej, przyśrodkowej części prawego obojczyka i podgłowej lewej kości ramiennej, kompresja kłykcia bocznego lewej piszczeli.

2) W pozycji wyprostnej z prawej strony:

- prawe kolano od strony bocznej - szczelina pęknięcia przechodząca przez kłykieć boczny piszczeli wraz z rozległym wylewem śródkostnym oraz wylewy śródkostne ze zgnieceniem beleczek kostnych w zakresie bocznej części kłykcia bocznego kości udowej,
- lewe kolano od strony przyśrodkowej - oderwanie dolnego przyczepu więzadła pobocznego strzałkowego wraz z fragmentem głowy strzałki, rozerwanie torebki stawowej kolana od strony bocznej, odłamanie przyśrodkowej krawędzi kłykcia przyśrodkowego piszczeli, oderwanie przyczepów obu więzadeł krzyżowych, oderwanie przedniego przyczepu i naderwanie tylnego przyczepu łąkotki bocznej.
- wgniecenie powierzchni stawowej kłykcia przyśrodkowego prawej piszczeli ze śródkostnymi wylewami krwawymi w jego zakresie, brak obrażeń w zakresie lewej kończyny dolnej.
- oderwanie więzadła pobocznego strzałkowego z fragmentem głowy lewej strzałki i kompresją kłykcia przyśrodkowego lewej piszczeli przy braku cech kompresji jej kłykcia bocznego (z uwagi na zachowany więzozrost piszczelowo-strzałkowy) tworzą zespół charakterystyczny dla bezpośredniego uderzenia w lewą kończynę dolną od strony przyśrodkowej (prawej), co potwierdzają obrażenia struktur prawego kolana. Złamanie prawej strzałki w mechanizmie bezpośrednim oraz awulsyjne oderwanie dolnego przyczepu więzadła pobocznego piszczelowego kolana prawego tworzą bowiem zespół charakterystyczny dla bezpośredniego urazu tego stawu od strony bocznej, czyli prawej.

- 3) W pozycji wyprostnej od strony przedniej z wleczeniem:
- w obu stawach kolanowych obrażenia charakterystyczne dla mechanizmu przeprostu (po stronie prawej rozerwanie tylnej części torebki stawowej z wylewami krwawymi w przyczepach obu więzadeł pobocznych, a po stronie lewej złamanie rzepki, rozerwanie obu więzadeł krzyżowych i masywne wylewy śródkostne obejmujące jedynie okolicę przedniej krawędzi piszczeli), w obrębie stawu skokowego zgniecenie przedniej krawędzi dalszej nasady piszczeli (charakterystyczne dla mechanizmu zgięcia grzbietowego).

W przypadku gdy charakter i usytuowanie obrażeń kośćca oraz tkanek miękkich nie dają dostatecznych podstaw do wnioskowania odnośnie ustawienia pieszego względem pojazdu w chwili kolizji, możemy wesprzeć się zmianami w obrębie kolan. Tworzą one bowiem zespoły charakterystyczne dla urazu działającego z określonego kierunku (prócz uderzenia od tyłu) [5].

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie danych medycznych można określić mechanizm uderzenia, przede wszystkim ustawienie pieszego względem samochodu. Zasadniczą rolę odgrywają tu złamania zderzakowe, urazy mięśni oraz stawów kolanowych, kości miednicy i czaszki. Dla zmniejszenia ryzyka błędu należy w rekonstrukcji brać pod uwagę całościowy charakter doznanych obrażeń.

Nasilenie obrażeń zależne jest od prędkości kolizyjnej, jednakże nie można określić tej prędkości na podstawie obrażeń, ponieważ śmiertelne urazy mogą wystąpić nawet przy niskich prędkościach (od 20 [km/h]).

#### LITERATURA

- [1] Wicher J.: Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. WKŁ, Warszawa 2004,  
[2] Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J.: Podstawy rekonstrukcji wypadków samochodowych. WKŁ, Warszawa, 2008,  
[3] Teresiński G.: Biomechanika zderzenia z pieszym. Wydawnictwo AM, Lublin 2004,  
[4] Policja: Satystyki roczne.  
[http://dlakierowcow.policja.pl/portal/dk/807/47493/Wypadki\\_drogowe\\_raporty\\_roczne.html](http://dlakierowcow.policja.pl/portal/dk/807/47493/Wypadki_drogowe_raporty_roczne.html)  
[5] Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. Instytut Ekspertyz Sądowych. Kraków 2010.

### **BIOMECHANICS OF CAR-PEDESTRIAN ACCIDENT AND CAR ACCIDENT EXPERTISE**

Summary. The purpose of the study is relation between pedestrian traumas and car accident proceedings. Showing the correlations between type of injury and accident factors allows to fix significant expertise parameters. An article describes biomechanics of car-pedestrian accident issues and traumas after a car accident in reference to road accident expertise.