

Grzegorz Teresiński

Weryfikacja dystorsji szyjnego odcinka kręgosłupa w praktyce sądowo-lekarskiej

Część I – ocena okoliczności i biomechaniki urazu

Z Katedry i Zakładu Medycyny Sądowej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie
Kierownik: prof. dr hab. med. R. Mądro

Badania nad etiologią i zapobieganiem dystorsji kręgosłupa szyjnego pozostają od wielu lat w centrum zainteresowania badaczy związanych z przemysłem samochodowym i medycyną wypadkową, a także towarzystw ubezpieczeniowych. Etiopatogeneza zespołu dolegliwości związanych z tzw. whiplash (WAD) budzi wciąż kontrowersje i jak dotychczas nie udało się w jednoznaczny sposób ustalić jego morfologicznych wykładników. Subiektywny charakter skarg powoduje bardzo duże trudności w obiektywizacji następstw urazu akceleracyjno-deceleracyjnego oraz weryfikacji zgłaszanych roszczeń. Celem pracy było przedstawienie zależności biomechanicznych oraz okoliczności towarzyszących powstawaniu WAD wynikających z badań populacyjnych, statystyk firm ubezpieczeniowych oraz analizy zapisów rejestratorów zderzeń montowanych przez producentów samochodów. Znajomość technicznych aspektów okoliczności powstawania WAD może ułatwić medyczną ocenę tego rodzaju następstw.

Słowa kluczowe:

wypadki drogowe, dystorsja kręgosłupa szyjnego, uraz akceleracyjny, opiniowanie sądowo-lekarskie

Zderzenia tylne stwarzają minimalne ryzyko zgonu, jednak aż połowa rannych w wypadkach samochodowych doznaje obrażeń w wyniku uderzenia w tył pojazdu, wśród których 80% stanowią obrażenia szyjnego odcinka kręgosłupa [1]. U ofiar tego rodzaju wypadków tylko sporadycznie stwierdza się uchwytne radiologicznie złamania kręgów lub rozerwania więzadeł kręgosłupa (z reguły przy braku odpowiednich zabezpieczeń biernych). Zdecydowanie dominują najłżejsze (AIS 1 wg tzw. skró-

conej skali obrażeń, śmiertelność 0,0%), ujemne radiologicznie objawy urazu dystensyjnego określane mianem skręcenia lub dystorsji kręgosłupa szyjnego, względnie zespołu związanego z whiplash (WAD – *whiplash associated disorders*). Potoczny termin *whiplash* został po raz pierwszy użyty w 1928 roku przez Crowa jako określenie nagłego wstrząsu szyi podczas wypadku, dopiero w 1953 roku Gay i Abbott opisali oscylacyjny ruch szyi (uraz „cepowy”), a w 1969 roku Frankel oraz deGravelles i Kelly powiązali to określenie z dolegliwościami zgłaszanymi przez pacjentów w wyniku najechania na tył pojazdu oraz mechanizmem zgięcia i hiperekstensji szyi [2, 3, 4, 5]. Obecnie WAD definiuje się najogólniej jako następstwa urazu akceleracyjno-deceleracyjnego o różnej symptomatologii [6, 7].

Mimo iż zgłaszane dolegliwości mają subiektywny charakter bólowy, to jednak w części przypadków stopień ich nasilenia i towarzyszącego bólowego ograniczenia ruchomości szyi powoduje dość znaczne utrudnienie w normalnym funkcjonowaniu oraz budzi niepokój pacjentów (szczególnie w społeczeństwach o wysokim stopniu świadomości możliwości wystąpienia takich konsekwencji), co jest z kolei przyczyną długotrwałej absencji w pracy i fali roszczeń finansowych. W niektórych krajach tzw. kultury whiplash (UK, kraje skandynawskie i Ameryki Płn., Szwajcaria i in.), wypłaty towarzystw ubezpieczeniowych z tytułu WAD stanowiły główną pozycję w strukturze wypłat z tytułu następstw urazów komunikacyjnych (mimo mniejszej kwoty jednostkowych świadczeń niż np. w urazach wielonarządowych, liczba roszczeń zgłaszanych z tytułu WAD przewyższa zdecydowanie inne kategorie urazów komunikacyjnych). W Europie największy odsetek roszczeń związanych z WAD notowany jest w Wielkiej Brytanii (76%), gdzie sumaryczny koszt wypłaconych z tego powodu świadczeń wynosił

50% całkowitej kwoty odszkodowań wypłaconych z powodu pourazowego uszczerbku na zdrowiu [8, 9]. W Kanadzie przypadki WAD stanowią ponad 70% roszczeń ubezpieczeniowych [10]. Obserwowany jest przy tym stały wzrost liczby zgłaszanych roszczeń z tytułu WAD mimo wprowadzanych w pojazdach zmian konstrukcyjnych i nowych systemów zabezpieczeń biernych, w tym *anti-whiplash* [8, 11, 12, 13, 14, 15].

U kilku do kilkunastu procent ofiar z rozpoznaną dystorsją szyjnego odcinka kręgosłupa subiektywne skargi utrzymują się mimo prowadzonego leczenia nawet przez szereg lat [10], co zdaniem niektórych badaczy świadczy o występowaniu przewlekłej postaci WAD. Krytycy takiego stanowiska wskazują jednak, iż częstość przewlekłego bólu szyi w grupie ofiar wypadków komunikacyjnych nie odbiega od częstości występowania tego objawu w populacji ogólnej [16, 17], a prawie wszyscy pacjenci z rozpoznaniem przewlekłym WAD wykazują różnie nasilone zaburzenia sfery psychicznej i emocjonalnej – u części z nich rozwijają się równoległe z WAD, ale u wielu chorych można potwierdzić ich wcześniejsze występowanie w oparciu o analizę archiwalnej dokumentacji medycznej [16, 18, 19]. Dlatego wielu badaczy traktuje WAD jako chorobę o podłożu psychosomatycznym, w którym czynnik urazowy (lub niekiedy jedynie konfliktowa sytuacja stresowa związana z zaistnieniem kolizji drogowej) wyzwala lub podtrzymuje odczuwanie dolegliwości somatycznych i psychicznych [1, 20, 21, 22, 23, 24].

Zastanawiające jest ponadto, iż objawy WAD zgłaszane są z reguły przy bardzo małych prędkościach kolizyjnych, ich częstość zmniejsza się wyraźnie w przedziale „średnich” prędkości zderzeniowych, a należą do rzadkości w bardziej poważnych wypadkach [25, 26]. Wytłumaczenie tej powszechnej prawidłowości może stanowić fakt, iż dystorsja kręgosłupa szyjnego w „lekkich” wypadkach stanowi jedyny i wyłączny problem zdrowotny, na którym koncentruje się uwaga uczestników kolizji, podczas gdy ofiary w poważniejszych wypadkach doznają z reguły innych, często wielomiejscowych obrażeń (w tym złamań), wśród których ewentualny WAD stanowi stosunkowo niegroźny i relatywnie błahy skutek [27]. Ponadto przy większych prędkościach kolizyjnych dochodzi do rozkładania oparcia przednich foteli (w zderzeniach tylnych), co zmniejsza zakres relatywnych prze-

mieszczeń między głową, szyją i tułowiem, podczas gdy przy mniejszych prędkościach zderzeniowych może dochodzić (zwłaszcza przy zbyt sztywnej i jednocześnie elastycznej konstrukcji foteli) do „odbicia” ciała ofiary w drugiej fazie kolizji, przez co faktyczna wartość zmiany wektora prędkości ulega podwojeniu [25]. Mniej wytrzymała konstrukcja foteli w starszych pojazdach paradoksalnie zmniejsza ryzyko WAD (oparcia ulegały odkształceniom plastycznym, a nie sprężystym), a częstość urazów szyi była najmniejsza w przypadkach, w których doszło do uszkodzenia mocowania fotela i/lub złamania oparcia [13, 28].

Częstość WAD jest ponadto wyraźnie większa w grupie młodszych ofiar (20-40 lat) i stopniowo obniża się w starszych grupach wiekowych (u osób po 60 roku życia zwiększa się jednak odsetek osób wymagających długotrwałego leczenia) [3, 15, 22, 25, 29, 30, 31]. Wraz z wiekiem wzrasta częstość różnych dolegliwości (w tym również bólowych) związanych z naturalnymi procesami chorobowymi i inwolucyjnymi, a z tego punktu widzenia pojawienie się dodatkowych objawów WAD nie jest tak zaskakujące i niepokojące jak u młodszej osoby, która wcześniej mogła nigdy nie doświadczyć podobnego dyskomfortu (z drugiej strony okres leczenia WAD u młodej osoby jest z reguły bardzo krótki przy zaleceniu jak najszybszej mobilizacji pacjenta). Wśród pacjentów z rozpoznawanym WAD dominują przy tym osoby o niższym statusie społecznym i gorszym wykształceniu [12], aczkolwiek część przypadków agrawacji związana jest ze zwiększoną świadomością istnienia WAD i skali trudności w jego pełnej obiektywizacji – nabytą na gruncie zawodowym (osoby związane z branżą medyczną, rehabilitacyjną czy ubezpieczeniową, a nawet wymiarem sprawiedliwości) lub w związku z „narażeniem środowiskowym” w grupie podwyższonego ryzyka urazów komunikacyjnych (branża transportowa, taksówkarze, przedstawiciele handlowi itp.).

Duże znaczenie czynnika psychologicznego w tego rodzaju przypadkach potwierdzają także wyniki niektórych badań doświadczalnych z udziałem ochotników, w których imitowano warunki potrącenia w tył samochodu [32]. Odtwarzane w ciemności dźwięki zderzenia, wrażenie przemieszczenia pojazdu po „zderzeniu” (w rzeczywistości pojazd staczał się z niewielkiej rampy z przyspieszeniem zaledwie 0,03 g) oraz demonstrowane

uczestnikom eksperymentu „skutki” rzekomego zderzenia (uszkodzony tył pojazdu, w którym znajdował się ochotnik oraz przód drugiego samochodu, którym rzekomo uderzono w testowany pojazd, choć w rzeczywistości zniszczenia powstały wcześniej, lecz były zasłonięte przed wzrokiem uczestnika eksperymentu) były tak sugestywne, że aż ok. 20% badanych osób zaczęło zgłaszać typowe objawy dystorsji szyjnego odcinka kręgosłupa – nieprawdopodobnej w warunkach testu, które obrazowo przyrównywano w komentarzach do sytuacji siadania na sedesie [33].

Ogromne różnice w częstości zgłaszanych roszczeń związanych z WAD w różnych krajach, a nawet w regionach tego samego państwa różniących się jedynie systemem likwidacji szkód (opartym na systemie deliktowym lub tzw. „no fault”) świadczą ponadto o występowaniu zjawiska „oczekiwania skutku” (*sequel expectation*) przez uświadomionych w tej materii uczestników kolizji [2, 3, 7, 16]. Brak powszechnej, systemowej kompensacji wypadkowych subiektywnych roszczeń bólowych powodował, że przewlekły WAD był bardzo rzadko rozpoznawany na Litwie i w Grecji, mimo iż częstość zgłaszania ostrych szyjnych zespołów bólowych w krótkim okresie powypadkowym była podobna jak w innych krajach [5, 34, 35]. Prospektywna ocena postępów leczenia u pacjentów po niedawno doznanej dystorsji kręgosłupa szyjnego wykazała [1, 36], że u osób, które konsultowały się z prawnikiem, po upływie roku od wypadku stwierdzono znamienne statystycznie mniejszy odsetek załatwionych roszczeń (w porównaniu z grupą ofiar, która nie korzystała z tego rodzaju „pomocy prawnej”), dłuższy okres powrotu do normalnej aktywności zawodowej oraz większy odsetek kontynuacji leczenia (bez związku ze stopniem uszkodzenia pojazdu). Odsetek agrawacji w przypadkach WAD szacowany jest na ok. 40-50% [25, 37]. Duże kontrowersje budzi ocena wpływu likwidacji szkód komunikacyjnych i sytuacji procesowej na przebieg leczenia – problemy tzw. wiktyimizacji, oczekiwań kompensacyjnych i możliwości „leczenia przez werdykt” [8, 17, 38, 39, 40, 41].

Badania nad etiologią i zapobieganiem dystorsji kręgosłupa szyjnego pozostają od wielu lat w centrum zainteresowania badaczy związanych z przemysłem samochodowym i medycyną wypadkową, a także towarzystw ubezpieczeniowych – narażo-

nych na wypłaty olbrzymich odszkodowań [9]. Ilość publikacji dotyczących WAD jest przytłaczająca, aczkolwiek większość z nich nie wnosi żadnych nowych ustaleń o charakterze empirycznym, lecz powiela (nierzadko wybiórczo i subiektywnie) i interpretuje wcześniejsze doniesienia w toczącej się wciąż polemice na temat istoty, diagnostyki i zasad postępowania z ofiarami WAD (oraz kompensacji ich roszczeń). W 1995 roku naukowcy skupieni w ramach the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders (QTF) przeanalizowali ponad 10 tysięcy publikacji (w tym ponad 1200 dedykowanych problemowi WAD) z lat 1980-1993 i stwierdzili [6], iż tylko 294 z nich zawierało oryginalne wyniki badań, wśród nich zaledwie 62 prace spełniały kryteria poprawności naukowej (największa, badana prospektywnie grupa pacjentów liczyła tylko 117 osób, w wielu badaniach ochotnicy rekrutowani byli na podstawie ogłoszeń). Mimo iż od czasu tej analizy powstało jeszcze więcej opracowań na temat WAD z punktu widzenia różnych dziedzin medycyny i techniki [7, 42], to jednak generalny sposób postrzegania tej problematyki znacząco się nie zmienił, na co wskazują wyniki kolejnych, krytycznych przeglądów piśmiennictwa naukowego w tej dziedzinie [1, 17, 23, 24, 43, 44, 45].

W toczonej dyskusji wyraźnie wyodrębniły się grupy oponentów, które „okopały się” na swoich stanowiskach interpretując na różny sposób często te same spostrzeżenia [1, 17, 23, 24, 32, 33, 46, 47, 48]. Podstawową osią sporu jest już kwestia etiopatogenezy WAD jako schorzenia somatycznego lub psycho-somatycznego, a nawet wyłącznie zaburzeń osobowościowych i nerwicowo-socjopatycznych [21]. Ogólny zamęt informacyjny pogłębia wysyp niezliczonej liczby „niezależnych konsultantów”, którzy przy pomocy serwisów internetowych i publikacji o charakterze publicystycznym stanowią nieodłączny element „kultury whiplash” (jak np. stwarzające pozory opracowań naukowych poradniki dla potencjalnych ofiar zawierające dokładny przepis na uzyskanie świadczeń w wyniku praktycznie dowolnej kolizji drogowej z podaniem kwot odszkodowania, na jakie można liczyć w zależności od rodzaju zgłaszanych dolegliwości). W sieci sprzecznych poglądów funkcjonuje zakamuflowany lobbying (rzeczywisty lub domniemany) różnych środowisk (medycznych, prawniczych i ubezpieczeniowych,

motoryzacyjnych i konsumenckich) związanych z ekonomicznym aspektem WAD (leczenie i rehabilitacja, kompensacja roszczeń, produkcja i sprzedaż „bezpiecznych” pojazdów) [8].

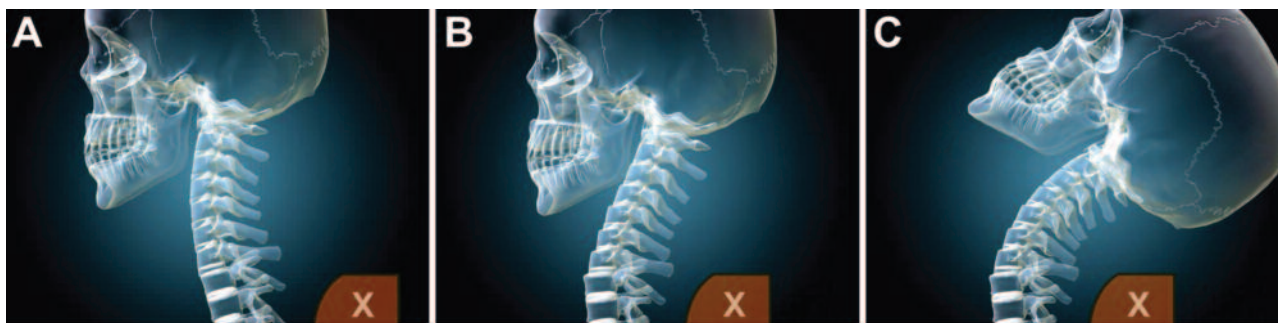
Poważnym mankamentem większości badań naukowych nad etiologią, ewolucją i ewaluacją WAD jest brak możliwości pełnej obiektywizacji objawów, zarówno w grupach ofiar wypadków, jak i kontrolnych. Nawet jeżeli możliwe jest określenie obiektywnych parametrów technicznych zderzenia (np. przez analizę zapisów z „czarnych skrzynek” pojazdów uczestniczących w wypadkach), to wartość przeprowadzonych w ten sposób badań obniża subiektywizm oceny stopnia nasilenia i czasu utrzymywania dolegliwości u ofiar [10, 16, 17, 31, 49, 50, 51]. Kwestie medyczne oceniane są bowiem z reguły metodami ankietowymi (nawet telefonicznie), nierzadko retrospektywnie po upływie bardzo długiego czasu od kolizji (czasem nawet po kilku latach). W tej sytuacji, w zależności od metodologii prowadzonych badań i konstrukcji pytań testowych, różne zespoły badaczy znajdują wciąż uzasadnienie dla generalnie sprzecznych ze sobą stanowisk. Przepytywane osoby mogą ponadto udzielać mylnych odpowiedzi obawiając się podświadomie utraty uzyskanych świadczeń.

Niektórzy autorzy publikacji skłonni są np. znacząco obniżać dolne granice parametrów zderzenia, przy których można spodziewać się wystąpienia WAD u uczestników wypadku. Np. graniczna wartość Δv (różnica prędkości środka masy pojazdu tuż przed i chwilę po zderzeniu) szacowana jest ostrożnie (w kręgach „technicznych”) przy zderzeniach tylnych na min. 8-15 km/h [52, 53, 54], ale wg najbardziej radykalnych poglądów bywa obniżana (z reguły przez autorów z kręgów medycznych) do zaledwie 4 km/h [46, 55]. W ten sposób zupełnie zaciera się granica między prawdopodobnymi skutkami wypadku a efektem placebo, a szerokie pole interpretacyjne naraża na zarzut uprawiania „biomechaniki homeopatycznej”. Podobnie minimalna wartość przyspieszenia niezbędnego do wywołania WAD szacowana jest na 10g (wielokrotność przyspieszenia ziemskiego; $g=9,81 \text{ m/s}^2$), 4g lub zaledwie 2g [52]. Eksperci z dziedziny techniki samochodowej dysponują wprawdzie szeregiem bardziej wyrafinowanych wskaźników ryzyka (NIC, N_{ij} , N_{km} , IV-NIC, N_{te} , N_d , NDC, LNL, MIX), jednak zazwyczaj nie można ich zastosować do re-

trospektywnej oceny prawdopodobieństwa urazu u ofiar rzeczywistych wypadków [9, 10, 56, 57, 58, 59, 60]. Do tego celu nadają się jedynie wskaźniki relatywnego ryzyka urazu oparte na analizie danych statystycznych dotyczących częstości roszczeń ubezpieczeniowych w rzeczywistych wypadkach, jak np. indeks względnego ryzyka urazu lub Neck Injury Factor NIF [45, 54, 61, 62].

Osiągnięcie konsensusu lub zbliżenia stanowisk różnych badaczy i „grup interesu” utrudnia fakt, iż jak dotychczas nie udało się nawet w jednoznaczny sposób ustalić morfologicznych wykładników zespołu WAD i zidentyfikować konkretnych struktur anatomicznych odpowiedzialnych za powstawanie i utrzymywanie się dolegliwości w tej grupie pacjentów [1, 59, 63, 64, 65]. Podejrzewano m.in. występowanie „mikrouszkodzeń” mięśni, powierzchni stawowych, torebek stawów międzykręgowych, krążków międzystawowych, zwojów nerwowych w kanale kręgowym, a nawet pobudzenie układu współczulnego o charakterze „*central sensitization*”, czym próbowano tłumaczyć wpływ zmian pogody oraz stresu [1, 41, 66, 67]. Istnieje wciąż szereg teorii tłumaczących powstawanie ogniska bólowego w obrębie szyi, np. „przyszczypanie” stawów międzykręgowych, działanie sił ścinających na poziomie 2 górnych kręgów szyjnych, teoria hydrostatyczna ze wzrostem ciśnienia płynu w kanale kręgowym i in. [68, 69]. Większość badaczy skłania się obecnie do falsyfikacji „klasycznego” mechanizmu zgięcio-wyprostnego z hiperekstensją szyi i akceptacji hipotezy, iż mechanizm powstawania WAD jest 2-fazowy (ryc. 1) i polega w pierwszym etapie na translacji dolnych kręgów szyjnych ku przodowi (przez co oś kręgosłupa szyjnego pod wpływem bezwładności głowy przybiera przez chwilę kształt litery „S”, a w jego dolnej części działają siły ścinające), dopiero później dochodzi do rotacji głowy i wygięcia osi kręgosłupa szyjnego do tyłu (wyprost i ew. przeprostu) [1, 70, 71]. Na takim założeniu opierają się obecnie wysiłki naukowców współpracujących z firmami samochodowymi, którzy projektując nowe wersje foteli samochodowych dążą również do skrócenia fazy translacji i momentu zetknięcia głowy z zagłówkiem [9].

Propozycja wyposażania pojazdów w zagłówki została zgłoszona przez Ruedemanna już w 1957 roku [3], a pomysł ten doczekał się pierwszej prawnej implementacji dekadę później (obowiązek



Ryc. 1. Prawdopodobny patomechanizm dystorsji szyjnego odcinka kręgosłupa w przypadku uderzenia w tył pojazdu (A – impuls siły przenoszony na tułów ofiary przez oparcie fotela; B – translokacja dolnych kręgów szyjnych ku przodowi; C – faza wyprostu kręgosłupa).

montażu zagłówków wprowadzono w USA początkowo tylko w lekkich ciężarówkach). Wykazano, iż zmniejszają one ryzyko obrażeń szyi tylko o kilkanaście procent, ponieważ ich skuteczność ograniczał fakt, że 70% kierowców w ogóle nie regulowało zagłówków, a zaledwie u 10% kierujących były one ustawione we właściwy sposób – z tego względu stałe, podwyższone zagłówki okazały się bardziej skuteczne niż regulowane [1, 72, 73]. Po wprowadzeniu obowiązku montowania zagłówków we wszystkich nowych pojazdach okazało się, że liczba przypadków dystorsji kręgosłupa szyjnego paradoksalnie wzrosła w latach 90-tych w porównaniu z latami 80-tych – w Wielkiej Brytanii 2-krotnie, a w Szwecji i Niemczech nawet 3-krotnie [1, 3, 13, 72, 73, 74].

Dopiero wprowadzenie kolejnych, zaostrzonych standardów konstrukcji foteli (przez Federalną Komisję ds. Bezpieczeństwa Samochodowego w USA i Komisję Europejską) pozwoliło na znaczącą redukcję ryzyka WAD [3, 49]. Trendy konstrukcyjne w ciągu ostatnich kilkadziesiąt lat polegały więc generalnie na stopniowym podwyższaniu wysokości oparcia foteli i zagłówków (zgodnie ze spostrzeżeniem, że większość kierowców nie dostosowuje wysokości zagłówka do własnego wzrostu pozostawiając go w najniższej pozycji) oraz poprawie ich geometrii w celu ograniczenia możliwości swobodnego ruchu i rotacji głowy do momentu zetknięcia z zagłówkiem [3, 72]. Prawidłowe ustawienie zagłówka ma znaczenie nie tylko przy zderzeniach tylnych, ze względu na możliwy 2-fazowy, zgięcio-wyprostny charakter urazu.

Ryzyko WAD zwiększa się przy tym proporcjonalnie do wzrostu ofiary, ale w każdym przedziale

wzrostu dominują kobiety, u których ryzyko WAD jest generalnie większe od mężczyzn, mimo mniejszego średniego wzrostu. Różnice te tłumaczone są pozycją ofiary (kobiety w roli kierowcy mają tendencję do zbyt bliskiego przysuwania fotela do przodu oraz przyjmują bardziej pionową postawę) oraz odmiennościami anatomicznymi: dłuższą szyją ze słabszym jej umięśnieniem oraz większym stosunkiem masy głowy do tułowia [1, 15, 30, 72, 75]. Wśród ofiar płci żeńskiej dominują przy tym osoby o relatywnie małej masie ciała (przez co siedzą „płycej” w fotelu i łatwiej ulegają wtórnemu odbiciu), podczas gdy w grupie mężczyzn przeważają osoby o większej masie [15, 72].

Bardzo istotnym źródłem informacji do badań porównawczych są statystyki firm ubezpieczeniowych oraz informacje uzyskane z analizy zapisów rejestratorów zderzeń montowanych w dużej liczbie szwedzkich pojazdów przez producentów [50, 51, 76, 77]. Urządzenia te pełniły funkcję ukrytych „czarnych skrzynek” rejestrujących parametry jazdy, pracy silnika i reakcji kierowcy oraz zapisy z akcelerometrów. Analizę roszczeń związanych z WAD ułatwia fakt, iż w cenie sprzedaży nowego pojazdu w Szwecji zawarta jest 3-letnia polisa ubezpieczeniowa, co umożliwia konstruktorom danej marki oraz powiązanim z nimi ekspertom z zakresu bezpieczeństwa transportu samochodowego konfrontację danych z przebiegu likwidacji szkód z technicznymi parametrami kolizji [30, 72].

W ten właśnie sposób zdołano ustalić, iż ryzyko wystąpienia długotrwałych następstw WAD (rozumianych jako utrzymywanie się subiektywnych dolegliwości bólowych ponad miesiąc czasu) osiąga znaczący poziom dopiero od wartości delta-v 15 km/h

(dla długotrwałych następstw >6 miesięcy powyżej 20 km/h) i przy przyspieszeniu powyżej 4 g [9, 78, 79]. Warto podkreślić jest fakt, iż ryzyko to było zerowe przy wartościach przyspieszenia poniżej 3 g oraz wynosiło jedynie 15% w przedziale od 3 do 4g, natomiast zbliżało się do 100% powyżej 7g [58, 76, 79, 80]. Testy zderzeniowe związane z oceną ryzyka WAD (w tzw. pełnej skali z użyciem rzeczywistych pojazdów lub z wykorzystaniem wymontowanych foteli) planowane są obecnie pod kątem osiągnięcia delta-v równego 16 km/h [59, 65, 81, 82, 83, 84]. Należy jednak zdawać sobie sprawę, iż faktyczne delta-v mierzone w obrębie głowy uczestnika kolizji może znacznie różnić się (nawet dwukrotnie) od zmiany prędkości wyznaczone dla środka ciężkości pojazdu lub fotela, ponieważ 2-fazowy, wyprostno-zgięciowy ruch szyi powoduje sumowanie wektorów prędkości w 2 przeciwstawnych kierunkach [85].

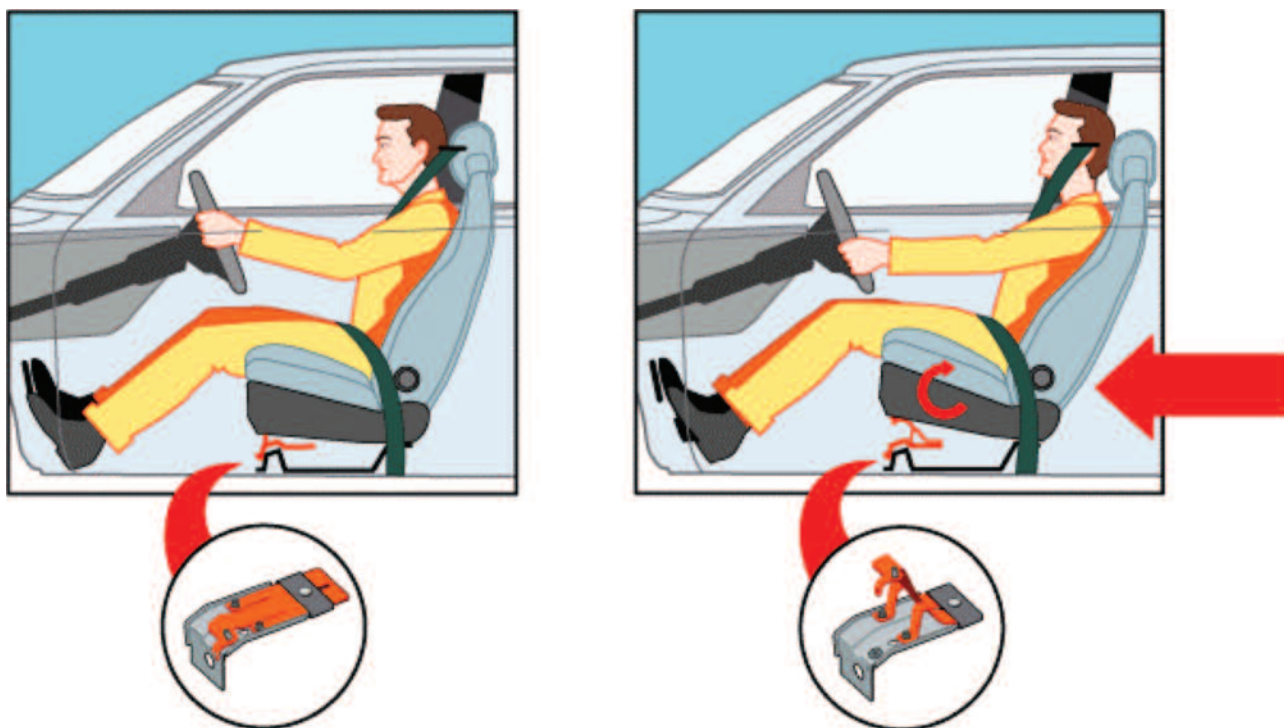
Obecnie bezpieczeństwo foteli samochodowych jest monitorowane (na podstawie testów zderzeniowych, badań geometrii oraz analizy roszczeń zgłaszanych przez ofiary rzeczywistych wypadków) przez wiele różnych organizacji zajmujących się bezpieczeństwem pojazdów oraz analizą kosztów ubezpieczeń komunikacyjnych: Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), New Car Assessment Programme (NCAP), Mapfre Centre for Road Traffic Safety and Research (CESVIMap), International Insurance Whiplash Prevention Group (IIWPG), Research Council for Automobile Repairs (RCAR), Autoliv, Thatcham, German Insurance Association (GDV), Folksam, Insurance Corporation of British Columbia (ICBC), Insurance Australia Group i in. [3, 9, 49]. Wyniki badań oraz rankingi bezpieczeństwa publikowane są na bieżąco w internecie (dostępne są również porównania obrazujące wpływ wprowadzanych modyfikacji na bezpieczeństwo konkretnej marki pojazdu w zależności od roku modelowego).

Wg obowiązujących obecnie zaleceń IIHS (ryc. 4), górna krawędź zagłówka nie powinna znajdować się niżej niż 6 cm od szczytu głowy, a przednia powierzchnia zagłówka nie może być oddalona od tyłu głowy więcej niż o 7 cm (minimalna wysokość montażu zagłówka wg aktualnych przepisów wynosi 75 cm w najniższej pozycji). Według badań Farmera i wsp., aż 98% roszczeń związanych z WAD dotyczyła osób, których zagłówki ustawione

były poniżej 9 cm od szczytu głowy, czyli poniżej środka ciężkości głowy [3]. Prowadzone od połowy lat 90-tych systematyczne badania porównawcze foteli samochodowych wykazały, iż początkowo aż w ponad 80% samochodów montowane były zagłówki o złej geometrii (podwyższające ryzyko urazu kręgosłupa szyjnego), podczas gdy obecnie odsetek ten wynosi poniżej 10% [3, 49, 83]. Do poprawy stopnia zabezpieczeń szyjnego odcinka kręgosłupa ofiar wypadków samochodowych przyczyniły się ponadto wprowadzane innowacje konstrukcyjne anty-whiplash [30, 60, 72, 75, 77, 86], np. WHIPS, AWD, AWS, SAHR oraz inne rodzaje aktywnych zagłówek (ryc. 2, ryc. 3), aczkolwiek okazało się, że stosowany przejściowo wynalazek firmy Toyota o akronimie WIL zwiększał ryzyko WAD [1]. Wciąż mało rozpowszechnione są systemy automatycznego ustawiania zagłówek oraz dostosowywania ich wysokości do wzrostu i ustawienia głowy pasażera [3].

Mimo wprowadzanych ulepszeń, ryzyko WAD jest wciąż statystycznie większe u osób zajmujących przednie fotele (w dodatku wyraźnie bardziej w roli kierowcy niż pasażera) w porównaniu do pasażerów podróżujących z tyłu pojazdu i to nawet w sytuacji, gdy na tylnych siedzeniach nie ma zamontowanych zagłówek [1, 30, 31, 59, 72, 75]. Różnice te tłumaczone są odmiennościami konstrukcyjnymi – tylna kanapa jest ściśle związana z pojazdem i jej oparcie nie rotuje jak w przednich fotelach, ponadto osoby z tyłu pojazdu zazwyczaj nie siedzą w tak pochylonej do przodu pozycji jak kierowca, a ich głowy znajdują się bliżej oparcia [87]. Ponadto tylne siedzenia zajmują częściej osoby młodsze i mniejszego wzrostu [1]. Mniejsze niż u kierowców ryzyko WAD u pasażerów z przedniego fotela może natomiast tłumaczyć większy stopień odchylenia oparcia i bardziej poziome ustawienie tułowia.

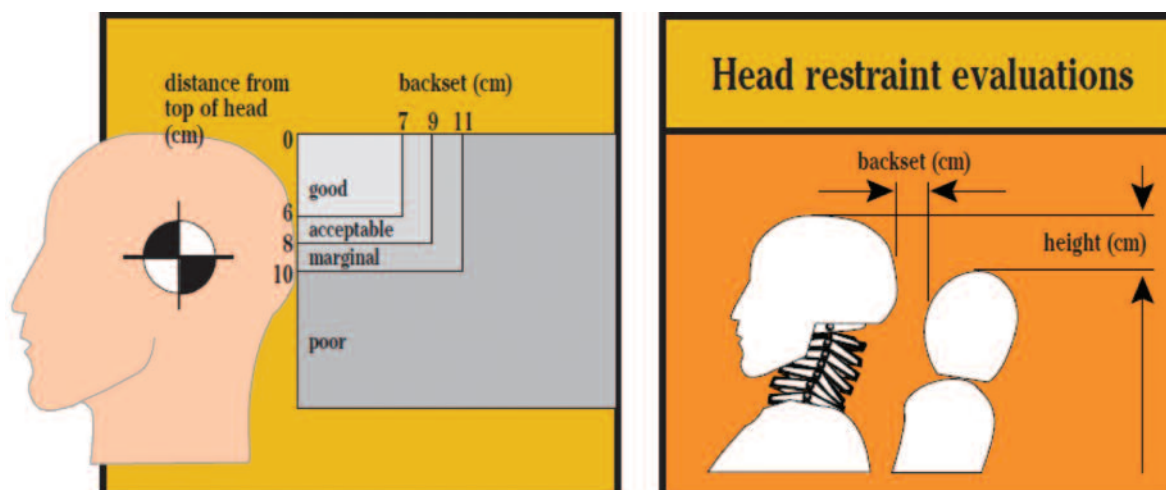
Wraz ze wzrostem odsetka osób zapinających pasy bezpieczeństwa (w wyniku kampanii informacyjnych i zaostrzenia przepisów drogowych) zaobserwowano zwiększenie częstości obrażeń szyi u ofiar wypadków komunikacyjnych o 8 do 21% [13, 72, 88]. Stało się to powodem kontestacji administracyjnych nakazów zapinania pasów i funkcjonujących nadal mitów w tej kwestii (wciąż można spotkać ekspertów zalecających rozpinanie pasów w ruchu miejskim), mimo iż brak pasów bezpieczeństwa zwielokrotnia ryzyko urazu kręgosłupa



Ryc. 2. Zasada działania Anti-Whiplash Device firmy Autoliv.



Ryc. 3. Zasada działania Anti-Whiplash Seat firmy Autoliv (po lewej) oraz aktywnego zagłówka SAHR firmy Saab (po prawej).



Ryc. 4. Podstawowe kryteria oceny geometrii zagłówek wg IIHS [37].

szyjnego w następstwie bezpośredniego urazu głowy [85]. Zaawansowane systemy bezpieczeństwa zmniejszają ryzyko urazów szyi poprzez [1, 30, 89]:

- zmniejszenie przyspieszenia ofiary oraz uśrednienie sił działających na różne części ciała
- zmniejszenie relatywnych przemieszczeń między głową a tułowiem oraz między kręgi
- zmniejszenie wtórnej fazy „odbicia” ciała od oparcia fotela.

Współcześnie montowane pasy bezpieczeństwa (działające jako jeden z elementów systemu zabezpieczeń biernych obejmujących oprócz zagłówek także napinacze pasów, ograniczniki napięcia pasów bezpieczeństwa i poduszki powietrzne) zmniejszają ponadto ryzyko dystorsji kręgosłupa szyjnego przy zderzeniach czołowych aż o 40 do 60% [1, 27, 50]. Ryzyko dystorsji kręgosłupa w zderzeniach przednich i bocznych jest wprawdzie 2-3 razy mniejsze niż przy uderzeniu w tył pojazdu, jednak zderzenia czołowe i boczne są kilkakrotnie częstsze w rzeczywistych warunkach drogowych, co sprawia że w ogólnej liczbie pacjentów leczonych z powodu WAD ofiary potrąceń tylnych stanowią paradoksalnie mniejszość [13, 14, 29, 72]. Różnice w rozkładzie ryzyka WAD związane są również z konfiguracją zderzeniową oraz technicznymi parametrami wypadku [3, 29]. W przypadkach zderzeń tylnych, 60% przypadków WAD jest wynikiem osiowego uderzenia pełną szerokością innego pojazdu w całą szerokość tyłu samochodu ofiary, w większości pozostałych zderzeń ma charakter „offsetowy”

również przy równoległym ustawieniu wzdłużnych osi samochodu uderzanego i uderzającego (najrzadsze przypadki skośnych potrąceń tylnych stanowią zaledwie ok. 5%). Tymczasem w grupie potrąceń czołowych, proporcje te są odwrotne: ponad 60% przypadków WAD jest wynikiem zderzeń skośnych, a jedynie ok. 8% pełnego kontaktu przodków obu pojazdów (w pozostałej części zderzeń offsetowych przeważają zdecydowanie kolizje lewymi narożami).

Bardzo ważnym czynnikiem różnicującym poszczególne zderzenia jest element zaskoczenia pokrzywdzonego [90, 91, 92, 93], gdyż podstawowym, fizjologicznym mechanizmem chroniącym kręgosłup szyjny przed urazem akceleracyjnym jest odruchowe napięcie mięśni szyi pod wpływem bodźców wzrokowych lub słuchowych (rozpoznanie sytuacji kolizyjnej jest najłatwiejsze w pełnych zderzeniach czołowych, trudniejsze przy zderzeniach skośnych, a niekiedy zupełnie niemożliwe do przewidzenia przy najechaniu na tył pojazdu). Jeżeli uczestnik wypadku nie spodziewa się kolizji i ma rozluźnione mięśnie, to wówczas nagłe szarpnięcie głowy pod wpływem siły bezwładności stwarza znacznie większe ryzyko uszkodzeń struktur więzadłowych. Ochotnicy uczestniczący w testach zderzeniowych zgłaszali, iż kolizje tylne wiązały się z większym dyskomfortem w porównaniu do zderzeń czołowych [90]. Warstwa mięśni przedniej strony szyi (przeciwdziałających bezwładnemu ruchowi głowy do tyłu) jest bowiem znacznie cieńsza

niż mięśni karku (ograniczających ruch zgięcia szyi), przez co zderzenia czołowe są lepiej tolerowane [64]. Przy zderzeniach bocznych ryzyko WAD jest praktycznie identyczne dla osób zajmujących miejsca bliżej (*near-side*) i dalej (*far-side*) od miejsca uderzenia. Wg niektórych poglądów, zwiększoną wrażliwość wykazują natomiast osoby, które w momencie kolizji miały skrzyżowaną szyję, jednak nie udało się jednoznacznie zweryfikować doświadczalnie czy ew. wzrost ryzyka urazu zachodzi ipsi-, czy kontralateralnie w stosunku do kierunku skrętu szyi [53, 64, 94]. Ryzyko długotrwałych następstw dodatkowo wzrasta (o ponad 20%) w przypadku uderzenia w tył pojazdu wyposażonego w hak holowniczy lub inne elementy sztywno związane z konstrukcją nośną i niepodatne na sprężyste odkształcenia [95].

Również dane z rekonstrukcji rzeczywistych wypadków potwierdzają ogólną prawidłowość, iż spowodowanie WAD jest „łatwiejsze” przy potrąceniu w tył lub bok pojazdu, a do wywołania tego zespołu przy zderzeniu czołowym potrzebna jest wyraźnie większa prędkość kolizyjna [14, 18, 75, 96]. Poszczególne konfiguracje zderzeń w obiektywny sposób różnicuje średnia wartość delta-v: 15 km/h przy zderzeniach bocznych, 16,5 km/h – tylnych, 17,5 km/h – tylnych skośnych, 18,5 km/h – przednich skośnych i aż 24,5 km/h w sytuacji równoległych zderzeń czołowych.

Przy interpretacji podanych wartości liczbowych należy zwrócić uwagę, iż parametru delta-v nie można utożsamiać z prędkością kolizyjną, gdyż zależy od stosunku mas zderzających się pojazdów oraz ich względnej prędkości (jeżeli pojazd uderzany również znajdował się w ruchu w momencie kolizji), a także stopnia pochłaniania energii zderzenia przez elementy nadwozia obu pojazdów [60, 85, 97, 98]. Dlatego, analizując np. przypadek zderzenia 2 samochodów, w których pojazd A o masie 1500 kg poruszający się z prędkością 20 km/h uderza przodem w tył samochodu B o masie 1000 kg toczącego się z prędkością 5 km/h, określenie wartości delta-v jest różne dla obu pojazdów:

- względna różnica prędkości obu pojazdów: $20 \text{ km/h} - 5 \text{ km/h} = 15 \text{ km/h}$
- stosunek masy uderzanego pojazdu do sumy mas obu aut: $1000 \text{ kg} / (1000 \text{ kg} + 1500 \text{ kg}) = 0,4$
- delta-v pojazdu A przy zderzeniu plastycznym: $0,4 * 15 \text{ km/h} = 6 \text{ km/h}$

- prędkość pozderzeniowa pojazdu A: $20 \text{ km/h} - 6 \text{ km/h} = 14 \text{ km/h}$

- delta-v pojazdu B przy zderzeniu plastycznym: $14 \text{ km/h} - 5 \text{ km/h} = 9 \text{ km/h}$.

Przyrost prędkości uderzanego pojazdu (o mniejszej masie) był większy niż utrata prędkości samochodu uderzającego (o większej masie). Podany przykład ilustruje ogólną prawidłowość, iż ryzyko powstania WAD jest generalnie większe u ofiar podróżujących lekkim samochodem, w który uderzył pojazd o znacznie większej masie [9]. Prędkość kolizyjna obliczona np. w programie do symulacji wypadków (np. PC-Crash) często różni się od wartości delta-v odczytanej np. z „czarnej skrzynki” pojazdu po wypadku, co niekiedy bywa przyczyną nieporozumień interpretacyjnych.

Podane wyżej obliczenia zostały przeprowadzone przy założeniu całkowicie plastycznego charakteru zderzenia. W praktyce zderzenie dwóch pojazdów ma jednak charakter sprężysto-plastyczny, gdyż ugięcie elementów nadwozia jest w mniejszym lub większym stopniu odwracalne (nieraz całkowicie bez pozostawienia uchwytnych śladów kolizji – zwłaszcza w nowszych pojazdach, które poddawane są testom zderzeniowym przy prędkości 5–9 km/h oceniającym podatność na tzw. szkody parkingowe) [99]. Dlatego w zderzeniach częściowo elastycznych delta-v jest większe od obliczonego dla zderzenia plastycznego o ok. 10-40%. Tzw. współczynnik restytucji (stosunek względnej prędkości odbicia badanych obiektów do ich względnej prędkości przed zderzeniem) dla całkowicie sprężystego zderzenia wynosi 1, a dla doskonale plastycznego (niesprężystego) – 0. Przy prędkościach zderzeniowych powyżej 20 km/h komponenta sprężysta staje się coraz mniej istotna (współczynnik restytucji $< 0,1$), natomiast przy mniejszych prędkościach współczynnik restytucji jest znacznie większy i wynosi 0,2 - 0,6 [60, 97, 98].

W praktyce szacowanie wartości współczynnika restytucji (konieczne np. podczas komputerowej symulacji wypadku) dla niskich prędkości zderzeniowych jest bardzo trudne, co jest przyczyną błędów w określaniu wartości delta-v (zwłaszcza przy uwzględnianiu jedynie podłużnej komponenty ΔV wzdłuż długiej osi pojazdu). Prędkość kolizyjną można również szacować wizualnie przez porównanie z wyglądem innych, rozbitych pojazdów tej samej lub podobnej marki o znanej wartości tzw.

Energy Equivalent Speed (EES), która jest miarą energii potrzebnej do spowodowania porównywalnych odkształceń struktury nadwozia pojazdu przy uderzeniu w sztywną, nieodkształcalną barierę. W sytuacji rzeczywistych zderzeń z innym pojazdem faktyczna prędkość kolizyjna jest jednak z reguły wyraźnie większa z uwagi na komponentę sprężystą zderzenia oraz utratę części energii zderzenia na powypadkowe przemieszczenie pojazdu [60, 97]. EES jest równe Δv w sytuacji pełnego zderzenia plastycznego, po którym pojazd zatrzymał się na przeszkodzie (w przypadku występującego zwykle

odbicia Δv staje się większe od EES). EES może być natomiast większe od Δv w sytuacji niepełnych zderzeń z częściowym uślizgiem [97].

Znajomość przytoczonych wyżej, technicznych aspektów okoliczności powstawania WAD ułatwia medyczną ocenę tego rodzaju następstw. W drugiej części pracy przedstawione zostaną propozycje obiektywizacji ostrych epizodów dystorsji kręgosłupa szyjnego u ofiar wypadków komunikacyjnych w oparciu o połączone kryteria medyczne oraz techniczne parametry zderzenia i okoliczności wypadku.

Adres do korespondencji:
dr hab. Grzegorz Teresiński
Katedra i Zakład Medycyny Sądowej
Uniwersytet Medyczny w Lublinie
ul. Ceramiczna 1
20-150 Lublin