

정면충돌 시 차량 탑승자의 하지 손상기전에 대한 분석

이희영* · 이정훈* · 전혁진** · 김호중*** · 김상철**** · 윤영한***** · 이강현*[†]

Analysis of Lower Extremity Injury Mechanism Centered on Frontal Collision in Occupant Motor Vehicle Crashes

Hee Young Lee*, Jung Hun Lee*, Hyeok Jin Jeon**, Ho Jung Kim***, Sang Chul Kim****, Young Han Youn*****, Kang Hyun Lee*[†]

Key Words : Motion analysis(동작분석), Motor vehicle crash(교통사고), Injury mechanism(손상기전), Frontal collision(정면충돌), Lower extremity injury(하지손상)

ABSTRACT

Injury mechanisms of lower extremity injuries in motor vehicle accidents are focused on fractures, sprains, and contusions. The purpose of this study is to evaluate the analysis of lower extremity injury mechanism in occupant motor vehicle accident by using Hospital Information System (HIS) and reconstruction program, based on the materials related to motor vehicle accidents. Among patients who visited the emergency department of Wonju Severance Christian Hospital due to motor vehicle accidents from August 2012 to February 2014, we collected data on patients with agreement for taking the damaged vehicle's photos. After obtaining the verbal consent from the patient, we asked about the cause of the accident, information on vehicle involved in the accident, and the location of car repair shop. The photos of the damaged vehicle were taken on the basis of front, rear, left side and right side. Damage to the vehicle was presented using the CDC code by analytical study of photo-images of the damaged vehicle, and a trauma score was used for medical examination of the severity of the patient's injury. Among the 1,699 patients due to motor vehicle crashes, 88 (5.2%) received a diagnosis of lower extremity fracture and 141 (8.3%) were the severe who had ISS over 15. Nevertheless during 19 months for research, it was difficult to build up in-depth database about motor vehicle crashes. It has a limitation on collecting data because not only the system for constructing database about motor vehicle crash is not organized but also the process for demanding materials is not available due to prevention of personal information. For accurate analysis of the relationship between occupant injury and vehicle damage in motor vehicle crashes, build-up of an in-depth database through carrying out various policies for motor vehicle crashes is necessary for sure.

* 연세대학교 원주의과대학 응급의학교실

** 춘해보건대학교 응급구조학과

*** 순천향대학교 부천병원 응급의학과

**** 충북대학교병원 응급의학과

***** 한국교육기술대학교 메카트로닉스공학부

[†]E-mail : ed119@yonsei.ac.kr

1. 서론

우리나라에서 교통사고는 주요 손상 사망원인 중 하나이다. 1990년부터 법적으로 운전자 및 조수석 탑승자의 안전띠 착용을 의무화⁽¹⁾ 2011년 4월부터는 고속도로 및 자동차 전용도로 운행 시 전 좌석 안전벨트 착용 의무

화의 확대 시행과 교통사고에 대한 예방교육 및 국민들의 교통법규 준수 의식 향상으로 교통사고 발생 및 환자 수가 매년 감소하는 추세이다. 하지만, 국내 교통사고가 2013년 기준 215,354건이 발생하였고 그 중 5,092명이 사망하였으며, 여전히 인구 10만 명당 사망자수 및 자동차 1만 대당 사망자수가 각각 10.5명, 2.4명으로 OECD 국가 중 높은 순위에 머무르고 있다.⁽²⁾ 자동차 충돌사고로 인한 차량 탑승자의 손상으로는 통상 4단계에 의해 충격이 가해지는데, 1차 충돌은 차량이 다른 물체에 부딪치면서 에너지가 흡수되는 과정이고 2차 충돌은 탑승자가 차량 내부나 다른 승객에 부딪치는 것이다. 그리고 3차 충돌은 탑승자의 장기가 이동을 계속하여 딱딱한 표면에 부딪쳐 상해 정도가 가중되는 것이며 4차 충돌은 차량 내부의 유동적인 물체에 의해 탑승자와 충돌하는 것을 말한다.⁽³⁾ 탑승자의 신체는 차량이 충돌하는 순간 감속하는 차량 내부에서 관성의 법칙에 의해 충돌 직전의 속도로 계속 움직였을 때 손상이 발생한다. 탑승자의 흉부는 핸들에, 두부는 앞 유리에, 무릎은 하부 계기판(dash-board 또는 instrument panel)에, 족부는 발판에 충돌하게 되면서 다양한 손상이 발생할 수 있다.⁽⁴⁾ 이 때, 차량의 앞부분 차체가 외력에 의해 심하게 함몰된다면 후방으로 밀린 차량의 앞부분과 차량의 좌석 사이에서 운전자의 하지가 짓눌리게 되는 손상을 받게 될 것이다. 만일 차체가 충돌 시 발생하는 에너지를 충분히 흡수하지 못한다면 경미한 충돌 사고로도 하지는 심한 근골격계 손상을 입게 될 것이다. 특히 외국의 픽업트럭과는 달리, 우리나라 트럭은 적재함과 캐빈이 일체형으로 제작되어 있고 자동차 안전기준에서 충돌 시 승객보호 시험항목이 면제되어 있기 때문에 다른 차종에 비해 사고 발생 시 차량 탑승자의 인체상해 정도가 더욱 클 것이다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 수집한 교통사고 자료를 기반으로 사고 차량의 파손정도를 코드화하고 프로그램을 이용하여 재현해본 후, 차량 탑승자의 의무기록에 명시된 손상척도 간의 관계를 비교하여 정면충돌 시 차량 탑승자 하지 손상의 기전을 알아보기 위한 것이다.

2. 연구 방법

2.1. 자료 수집

2.1.1. 차량 정보

환자나 보호자에게 자료 수집에 대한 동의를 구한 후

차량 정보를 문의하고 차량이 보관된 장소에 직접 찾아가서 사진 자료를 수집하였다. 사고차량 사진은 정면, 후면, 좌측면, 우측면을 기본으로 획득하였고, 주요 충돌부위, 내부 파손부위, 안전벨트 착용여부의 증거, 에어백 전개여부의 증거 등을 추가 획득하였다. 환자의 손상정도에 영향을 주는 안전벨트 착용여부를 판단할 때, 안전벨트를 착용했다고 진술하거나 사고차량 조사 시 안전벨트가 굽힌 흔적이나 풀어진 흔적이 있는 경우 안전벨트 착용으로 기록하였고, 전면 유리의 두부에 의한 파손(Bull's eye fracture)이 있을 경우나 환자 및 구조자의 진술이 불충분하고 증거가 훼손된 경우 미착용으로 기록하였다. 또한, 보다 정확한 사고정황을 파악하기 위해 관할 경찰서에 방문하여 담당 조사관에게 사고접수 여부를 문의한 후, 접수가 된 건에 한해 사고 정황에 대한 정보를 요청하였다. 이렇게 수집된 자료를 바탕으로 CDC(Collision Deformation Classification, 충돌에 의한 분류) 코드 형태로 사고차량의 파손정보를 파악하였다.

2.1.2. 환자 정보

2012년 8월부터 2014년 2월까지 총 19개월 동안 원주세브란스기독병원 응급실에 내원한 환자들은 총 63,272명이었다. 전체 내원 환자 중 2.69%에 해당하는 1,699명이 차량 탑승을 하지 않은 상태인 경우(보행자, 자전거 등)을 제외한 교통사고 환자였다. 그 중, AIS(Abbreviated Injury Scale, 간편손상척도) 코드와 ICD(International Classification of Diseases, 국제질병분류) 코드를 이용하여 분류한 하지 손상환자는 88명이었다. 손상환자 중 ISS(Injury Severity Score, 손상중증점수)가 15점 이상인 중증환자로 분류된 환자는 141명이었다.

마지막으로, 의료진이 사고관련 정보를 설문하기 전에 증상이 호전되어 귀가한 경우를 제외한 후에 환자나 보호자의 동의를 얻고 사고 차량의 사진을 촬영하여 CDC 코드를 생성한 경우는 309명이었고 그 중 운전석, 조수석 탑승자가 정면충돌 시 하지 손상된 환자는 23명이었다.

2.2. 자료 분석

2.2.1. 충돌에 의한 변형 분류 코드(CDC code)

CDC 코드는 미국자동차기술학회(Society of Automotive Engineers, SAE)에서 고안한 차량손상부위, 손상형태, 손상정도를 알 수 있는 차량손상코드이다. 7자리로 구성

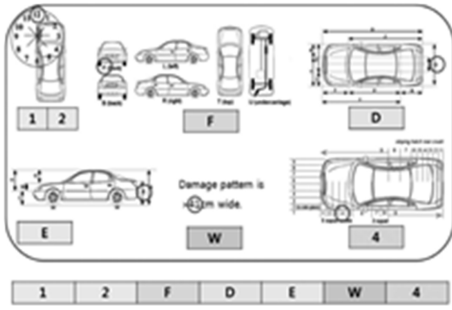


Fig. 1 Description of the damaged car by CDC code

된 CDC 코드는 다음과 같이 구성된다(Fig. 1). 첫째, 둘째 자리는 최초 충돌을 시계방향으로 표시한 것이다. 셋째 자리는 충돌 후 변형이 된 위치를 나타내고 전(F), 후(B), 좌(L), 우(R), 위(T), 아래(U)가 있다. 넷째 자리는 충돌의 바깥 쪽 수평위치를 나타내고 앞뒤방향에서 좌(L), 중앙(C), 우(R), 좌중(Y), 우중(Z), 전면(D), 좌우방향에서 전(F), 중앙(P), 후(B), 전중(Y), 후중(Z), 전면(D)가 있다. 다섯 번째 자리는 충돌의 바깥 쪽 수직위치를 나타내고 바퀴 밑(W), 프레임(L), 프레임 위에서 벨트선(M), 벨트선 위(G), 벨트선 아래(E), 프레임 위(H), 전면(A)이 있다.

여섯 번째 자리는 충돌에 기여한 손상의 종류를 나타내고 대표적으로, 넓은 면(W), 좁은 면(N), 전복(O) 등이 있다. 끝으로, 일곱 번째 자리는 변형정도를 나타내고 보통 가장 많이 변형된 곳을 기준으로 판단하며, 세단, 트럭, 밴에 따라 기준이 명시되어 있다.

2.2.2. 간편손상척도(AIS)/손상중증점수(ISS)

AIS는 교통사고 환자들의 중증도를 분류하는 유용한 손상척도이다. AIS는 미국자동차의학진흥협회(The Association for the Advancement of Automotive Medicine, AAAM)에서 제정한 간편손상척도로서, 7개의 자릿수와 8가지의 신체부위로 분류하고, 상해의 심도를 1점부터 6점까지 부여한다. AIS 1은 머리와 목을 포함한 두경부, AIS 2는 안면, AIS 3은 흉부, AIS 4는 복부 및 골반 내 장기, AIS 5는 상하지 및 골반, AIS 6은 화상이나 동상, 폭발과 같은 외부요인으로 분류된다. MAIS(Maximum Abbreviated Injury Scale)는 각 신체 부위 중 최대 AIS 값을 나타낸다.

ISS는 상해 정도가 높은 3곳의 신체 부위 AIS 값들의 제곱 합으로 계산되는 손상점수이다. 1점부터 75점까지의 숫자로 표현되며, 15점 이상 중증환자로 제안되고 있다.

3. 결 과

차량 탑승한 교통사고 환자 1,699명을 대상으로 차종, 충돌방향, 안전벨트 착용 여부, 에어백 전개 여부 및 탑승 위치에 따라 분류하였고, 하지를 대퇴부, 하퇴부, 족부로 구별하여 골절 유무에 따른 하지 손상을 정리하였다. 대퇴부는 엉덩관절과 무릎관절 사이에 있는 부분으로써 AIS에서 pelvic, acetabulum, femur에 해당하는 코드를 thigh로 분류하였고, 하퇴부는 무릎관절과 발목관절 사이에 있는 부분으로써 AIS에서 patella, tibia, fibula에 해당하는 코드를 leg로 분류하였으며, 족부는 AIS에서 talus, calcaneus, navicular, cuboid, cuneiform, metatarsal, phalange에 해당하는 코드를 foot으로 분류하였다. 마지막으로 ISS가 15점 이상인 경우를 중증환자로 분류하여 데이터를 분석하였다(Table 1).

3.1. 전체 데이터 분석

차종에 따라 분류하면 84.4%는 sedan, 6.3%는 SUV, 5.2%는 truck, 2.8%는 van, 1.3%는 bus에서 사고가 발생하였다. 충돌 방향에 따라 분류하면 정면충돌 36.7%, 측면충돌 27.3%, 추돌 17.6%, 전복 9.3%, 복합충돌 9.1% 이었고 안전벨트 착용 여부로 분류하면 67.9% 착용, 32.1%가 착용하지 않았으며 에어백 전개 여부로 분류하였을 때 91.7%가 전개되지 않았고 7.4%는 정면 에어백이 전개, 0.1%는 측면 에어백이 전개, 0.8%는 정면 에어백과 측면 에어백이 동시에 전개되었다. 마지막으로, 탑승위치에 따라 분류하면 운전석 52.6%, 그 밖의 좌석에 47.4%가 분포하였다.

3.2. 하지 손상 분석

전체 손상환자 중 5.2%에 해당하는 88명이 골절 진단을 받았고 대퇴부 골절은 48명, 하퇴부 골절은 37명, 족부 골절은 3명이었다. 대퇴부 골절에서는 차종에 따라 sedan이 81.3%로 가장 많았고 충돌방향에 따라 정면충돌 47.9%, 측면충돌 25.0%, 전복 14.6%, 추돌 8.3%순이었다. 안전벨트 착용 여부에 따라 41.7%가 착용, 58.3%가 미착용이었고 91.7%가 에어백이 전개되지 않았다. 하퇴부 골절에서는 차종에 따라 sedan이 73.0%로 가장 많았고 충돌방향에 따라 정면충돌 51.4%, 측면충돌 27.0%, 추돌 10.8%, 전복 8.1%순이었다. 안전벨트 착용 여부에 따라 54.1%가 착용, 45.9%가 미착용이었고 97.3%가 에

Table 1 Collision characteristics, included the number and the percentage of the patients

N=1,699	All for occupants		Fracture						No fracture		The severe (ISS≥15)	
			Hip		Leg		Foot					
	1,699	100.0(%)	48	100.0(%)	37	100.0(%)	3	100.0(%)	1,611	100.0(%)	141	100.0(%)
Vehicle type												
Sedan	1,434	84.4	39	81.3	27	73.0	2	66.7	1,366	84.8	111	78.7
SUV	107	6.3	2	4.2	2	5.4	0	0.0	103	6.4	9	6.4
Truck	89	5.2	2	4.2	5	13.5	1	33.3	80	5.0	16	11.3
Van	47	2.8	4	8.3	2	5.4	0	0.0	41	2.5	4	2.8
Bus	22	1.3	0	0.0	1	2.7	0	0.0	21	1.3	1	0.7
Impact site												
Front	623	36.7	23	47.9	19	51.4	1	33.3	580	36.0	56	39.7
Side	464	27.3	12	25.0	10	27.0	0	0.0	442	27.4	46	32.6
Rear	299	17.6	4	8.3	4	10.8	0	0.0	291	18.1	17	12.1
Rollover	158	9.3	7	14.6	3	8.1	1	33.3	147	9.1	15	10.6
Multiple	155	9.1	2	4.2	1	2.7	1	33.3	151	9.4	7	5.0
Safety belt												
Belted	1,154	67.9	20	41.7	20	54.1	2	66.7	1,112	69.0	71	50.4
Unbelted	545	32.1	28	58.3	17	45.9	1	33.3	499	31.0	70	49.6
Air bags deployment												
None	1,558	91.7	44	91.7	36	97.3	3	100.0	1,475	91.6	130	92.2
Front	126	7.4	4	8.3	1	2.7	0	0.0	121	7.5	9	6.4
Side	2	0.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	0.1	1	0.7
Both	13	0.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	13	0.8	1	0.7
Seating position												
Driver	894	52.6	28	58.3	25	67.6	2	66.7	839	52.1	78	55.3
Occupant	805	47.4	20	41.7	12	32.4	1	33.3	772	47.9	63	44.7

* Hip - Pelvis, Acetabulum, Femur / Leg - Patella, Tibia, Fibula / Foot - Talus, Calcaneus, Navicular, Cuboid, Cuneiform, Metatarsal, Phalange

어백이 전개되지 않았다. 족부 골절에서는 차종에 따라 sedan 2명, truck 1명이었고 충돌방향에 따라 정면충돌, 전복, 복합이 각각 1명이었다. 안전벨트 착용 여부에 따라 2명이 착용, 1명이 미착용이었고 에어백은 모두 전개되지 않았다.

3.3. 중증외상환자 분석

전체 손상환자 중 8.3%에 해당하는 141명이 중증외상환자에 해당되었다. 차종에 따라 분류하면 78.7%는 sedan, 6.4%는 SUV, 11.3%는 truck, 2.8%는 van, 0.7%는 bus에서 사고가 발생하였다. 충돌 방향에 따라 분류하면 정면충돌 39.7%, 측면충돌 32.6%, 추돌 12.1%, 전복 10.6%, 복합충돌 5.0%이었고 안전벨트 착용 여부로 분류하면

50.4% 착용, 49.6%가 착용하지 않았으며 에어백 전개 여부로 분류하였을 때 92.2%가 전개되지 않았고 6.4%는 정면 에어백이 전개, 측면 에어백이 전개되거나 정면 에어백과 측면 에어백이 동시에 전개된 경우는 각각 1건이었다. 마지막으로, 탑승위치에 따라 분류하면 운전석 55.3%, 그 밖의 좌석에 44.7%가 분포하였다.

4. 고찰

이 연구는 수집한 교통사고 자료를 기반으로 사고 차량의 파손정도를 코드화하고 프로그램을 이용하여 재현해본 후, 차량 탑승자의 의무기록에 명시된 손상정도 간의 관계를 비교하여 정면충돌 시 차량 탑승자 하지 손상의 기전을 알아보기 위한 것이었다. 전체 교통사고 환자

및 하지손상으로 골절이 있는 환자를 분류하고 분석해보면 다음과 같았다.

- 1) Sedan 차량, 정면충돌에서 교통사고 환자 발생이 가장 많았고, 67.9%의 탑승자가 안전벨트를 착용하였으며 에어백이 전개된 경우는 8.3%에 불과했다.
- 2) 차중에 따라 살펴보면, truck 탑승자가 89명 중 16명(18.0%)이 중증도가 높아서 인체 손상이 컸다.
- 3) 하지손상 골절 환자 88명 중, 42명은 안전벨트를 착용하였고 46명은 착용하지 않았다.
- 4) 안전벨트 착용 여부에 따른 중증환자는 착용한 경우 1,154명 중 71명(6.2%)이었고 착용하지 않은 경우 545명 중 71명(12.8%)이었다. 또한, 에어백이 전개되지 않은 경우(92.2%)에 환자의 손상 정도가 높았다.

하지 손상 중 가장 많이 알려진 것은 계기관 손상으로, 충돌 시 관성에 의해 무릎 부분을 계기관에 부딪치게 되면서 발생한다고 하였고 pelvis, acetabulum, femur의 엉덩관절, patella, tibia, fibula 등의 무릎관절, talus, calcaneus, navicular, cuboid, cuneiform, metatarsal, phalange 등의 족관절에서 다양한 형태의 하지 손상이 발생할 수 있다고 하였으며,⁽⁶⁻⁸⁾ 본 연구에서도 확인할 수 있었다. 안전벨트 착용 여부와 관련하여 착용을 한 경우가 착용하지 않은 경우보다 중증환자 발생 비율이 낮음을 확인하였다. 이와 관련하여 Bradbury와 Robertson은 안전벨트가 특히 두부, 안면부 및 흉부의 손상을 감소시킨다고 하였으나 경추부의 손상은 증가시킬 수 있다고 보고하였고,⁽⁹⁾ Koushki 등은 안전벨트 미착용 시 두부, 안면부, 복부 및 사지의 손상이 증가하나 안전벨트 착용 시에는 경추부 및 흉부의 손상이 증가한다고 하였다.⁽¹⁰⁾ 또한 Reath 등은 안전벨트를 착용하지 않은 교통사고 환자가 안전벨트 착용군에 비해 평균 손상 정도가 높다고 하였으며, 안전벨트 미착용 환자 290명의 대부분이 평균 손상 정도가 15이상이라고 하였다.⁽¹¹⁾

본 연구는 2012년 8월부터 2014년 2월까지 약 19개월 동안 자료를 수집하였음에도 불구하고 조사대상 수가 너무 적었기 때문에 사고차량의 파손정도와 차량 탑승자의 손상정도 간의 관계를 일반화하기 어렵다. 따라서, 차량 파손과 인체 손상과 관련된 차중, 충돌방향, 충돌물체, 차량변형정도, 안전장치, 차량탑승위치 등이 서로에게 어떠한 영향을 주는지 고려해보아야 할 것으로 생각한다.

5. 결 론

교통사고 환자에서 하지 손상의 특성은 sedan 차량인 경우와 정면충돌인 경우가 가장 많다. 그러나 truck에 탑승한 상황에서 사고 발생 시 ISS가 높은 경향을 보였다. 이는 truck 차량의 앞부분 차체가 짧기 때문에 안전공학 적 차량 설계 개선을 통해 충돌 시 충격을 충분히 흡수하여 안으로 덜 밀려들어온다면 하지 손상을 훨씬 감소할 수 있다고 예상된다. 또한 하지 손상의 중증도는 안전벨트를 착용하지 않은 경우와 에어백이 전개되지 않은 경우에서 많았다. 하지 손상의 기전은 탑승자와 차량 내부의 공간이 얼마나 확보되어 있는지, 충돌 순간의 속도가 얼마나 빠르는지, 충돌 순간에 안전장비가 제 역할을 하는지에 따라 영향을 받는다고 할 수 있겠다.

후 기

본 연구는 국토교통부의 『첨단안전자동차 안전성 평가 기술개발 - 한국형 자동차사고 심층조사 분석자료 구축 사업』(11PTSI-C54118-03)의 지원을 받았습니다.

참고문헌

- (1) Kim, S. Y., 1990, "The Road Traffic Law, Revised Version: A Guide", No. 313, Monthly Legislation: The Government Legislation Agency.
- (2) 도로교통공단, 2013, "2013년관(2011년 통계) OECD 회원국 교통사고 비교", pp. 22~33.
- (3) Peterson T., Jolly B. T., Runge J. W., Hunt R. C., 1999, "Motor Vehicle Safety: Current Concepts and Challenges for Emergency Physicians", Annals of Emergency Medicine, Vol. 34, No. 3, pp. 384~393.
- (4) King A. I., Yang K. H., 1995, "Research in Biomechanics of Occupant Protection", Journal of Trauma, Vol. 38, No. 4, pp. 570~576.
- (5) 통계청, 2011, "차중별 교통사고".
- (6) Dakin G. J., Eberhardt A. W., Alonso J. E., Stannard J. P., Mann K. A., 1999, "Acetabular Fracture Pattern: Associations with Motor Vehicle Crash Information", Journal of Trauma, Vol. 47, No. 6, pp. 1063.

- (7) Hak D. J., Goulet J. A., 1999, "Severity of Injuries Associated Traumatic Hip Dislocation as a Result of Motor Vehicle Collisions", *Journal of Trauma*, Vol. 47, No. 1, pp. 60~63.
- (8) Nagel D. A., Burton D. S., Manning J., 1977, "The Dashboard Knee Injury", *Clinical Orthopaedics and Related Research*, Vol. 126, pp. 203~208.
- (9) Bradbury A., Robertson C., 1993, "Prospective Audit of the Pattern, Severity and Circumstances of Injury Sustained by Vehicle Occupants as a Result of Road Traffic Accidents", *Archives of Emergency Medicine*, Vol. 10, pp. 15~23.
- (10) Koushki P. A., Bustan M. A., Kartam N., 2003, "Impact of Safety Belt Use on Road Accident Injury and Injury Type in Kuwait", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 35, pp. 237~241.
- (11) Reath D. B., Kirby J., Lynch M., Maull K. I., 1989, "Injury and Cost Comparison of Restrained and Unrestrained Motor Vehicle Crash Victims", *Journal of Trauma*, Vol. 29, pp. 1173~1177.