

법의인류학 감정을 위한 머리뼈골절의 형태 분석 및 도구 추정

구형남, 김유훈, 최승규¹, 김이석¹

국립과학수사연구원 법의학부 법의학과

¹이화여자대학교 의학전문대학원 해부학교실

(2011년 2월 28일 접수, 2011년 3월 8일 수정접수, 2011년 3월 16일 게재승인)

간추림 : 법의인류학 감정의 목적은 체질인류학 자료를 응용하여 백골시신의 신원확인에 도움을 주는 개인식별 항목을 알아내는 것뿐만 아니라 사망의 원인과 종류를 추정하여 죽음의 과정을 법의학적으로 재구성하는 것이다. 이 연구의 목적은 부검을 통해 사망의 종류가 외인사이면서 사망의 원인이 머리뼈골절로 감정된 사례를 모아 골절의 형태학적 분석, 해부학적 위치 및 추정 가능한 도구에 대하여 후향적으로 분석함으로써 백골시신의 머리뼈골절에 대한 법의인류학적 분석에 도움을 주는 근거자료를 제시하는 것이다.

머리손상을 일으킨 도구의 유형으로는 둔기가 69건 중 60건으로 전체의 약 87.0%에 해당하였으며, 이 중에서도 망치(31.7%)와 야구방망이(16.7%)가 둔력손상의 절반에 가까운 빈도를 차지하였다. 대부분의 도구에서 선골절이 나타났고, 거미줄모양골절과 함몰골절을 일으키는 가장 흔한 도구는 망치였으며, 분쇄골절은 비교적 중량감이 나가는 도구들이 주로 관련되었다. 또한 카이제곱검증을 시행한 결과 머리뼈골절의 유형에 따라 유발한 도구의 종류가 서로 다른 것을 알 수 있었다($\chi^2=103.817, P<0.001$).

이 연구를 통하여 백골시신 사망의 원인과 종류를 추정하는 데 도움을 주는 법의인류학 자료를 마련할 수 있었고, 머리뼈골절의 발생기전 및 사후변성학에 대한 추가적인 체질인류학 연구설정을 제시할 수 있었다.

찾아보기 낱말 : 법의인류학, 머리뼈, 골절, 손상분석, 도구, 신원확인

서 론

법의인류학 감정의 목적은 체질인류학 자료를 응용하여 백골시신의 신원확인에 도움을 주는 개인식별 항목을 알아내는 것뿐만 아니라 사망의 원인과 종류를 추정하여 죽음의 과정을 법의학적으로 재구성하는 것이다(Byers 2002). 특히 뼈에 남아있는 골절 등의 손상은 내인사와 외인사를 구별하는 중요한 소견이나, 오랜 시간을 두고 불령조직이 소실된 백골시신에서 그 손상의 양상이 사망무렵 손상인지 아니면 사망이후 손상인지 구별하기는 쉽지 않다(Cattaneo 등 2010). 더욱이 해부학적으로 사인과 직결되는 머리뼈골절에 대한 법의인류학적 판정의 옳고 그름은 향후 해당 사건의 분석이나 해결에 매우 큰 영향을 미친다(Kremer와 Sauvageau 2009). 따라서 머리뼈골절의 손상분석에 대한 자료와 비

교하여 사건과 관련이 없는 사망이후 손상을 가려내는 것이 중요하나, 현재까지 고인골에 대한 머리뼈손상의 역사적 추정 자료만 찾아볼 수 있을 뿐 사망무렵에 형성된 현대인 머리뼈골절에 대한 형태학적 분석 및 손상을 일으킨 도구 등에 대한 법의인류학 자료를 찾아보기는 어려웠다. 이 연구의 목적은 부검을 통해 사망의 종류가 외인사이면서 사망의 원인이 머리뼈골절로 감정된 사례를 모아 골절의 형태학적 분석, 해부학적 위치 및 추정 가능한 도구에 대하여 후향적으로 분석함으로써 백골시신의 머리뼈골절에 대한 법의인류학적 분석에 도움을 주는 근거자료를 제시하는 것이다.

재료 및 방법

2007년부터 2010년까지 국립과학수사연구원 본원에서 부검한 시신 중에서 사망의 종류가 외인사이면서 사망의 원인이 도구에 의한 머리손상으로 감정된 69명

Table 1. Classification of sampling data with the definitions for the types of weapon and cranial fracture

Variable	Term	Description
Type of weapon	Blunt	A weapon which does not have a sharp or penetrating point or edge; for example, it does include hammer, maul, club, etc.
	Sharp	In case of cranial fractures, it means a sharpened weapons or tools such as axes or shovels to break the cranium
Type of fracture*	Linear	Straight or curved fracture lines, often of considerable length
	Spider's web	Multiple linear fractures forming a spider's web or mosaic pattern and its representation of degree of depression to be minimal or even absent
	Depressed	Focal impact causing outer table to be driven inwards and also usually the inner table to be intruded into the cranial cavity
	Comminuted	Broken, splintered or crushed bone into a number of pieces
	Basilar skull Chop mark	A fracture of the skull base usually results from severe blunt trauma of significant force Modification of bone surface results from forceful and abrupt contact between tool edge and bone
Site of fracture	Frontal bone Parietal bone Temporal bone Occipital bone Skull base	According to the anatomical region of cranium

*Referred from Saukko P and Knight B: Knight's forensic pathology. London, Hodder Arnold, pp 184-186, 2004.

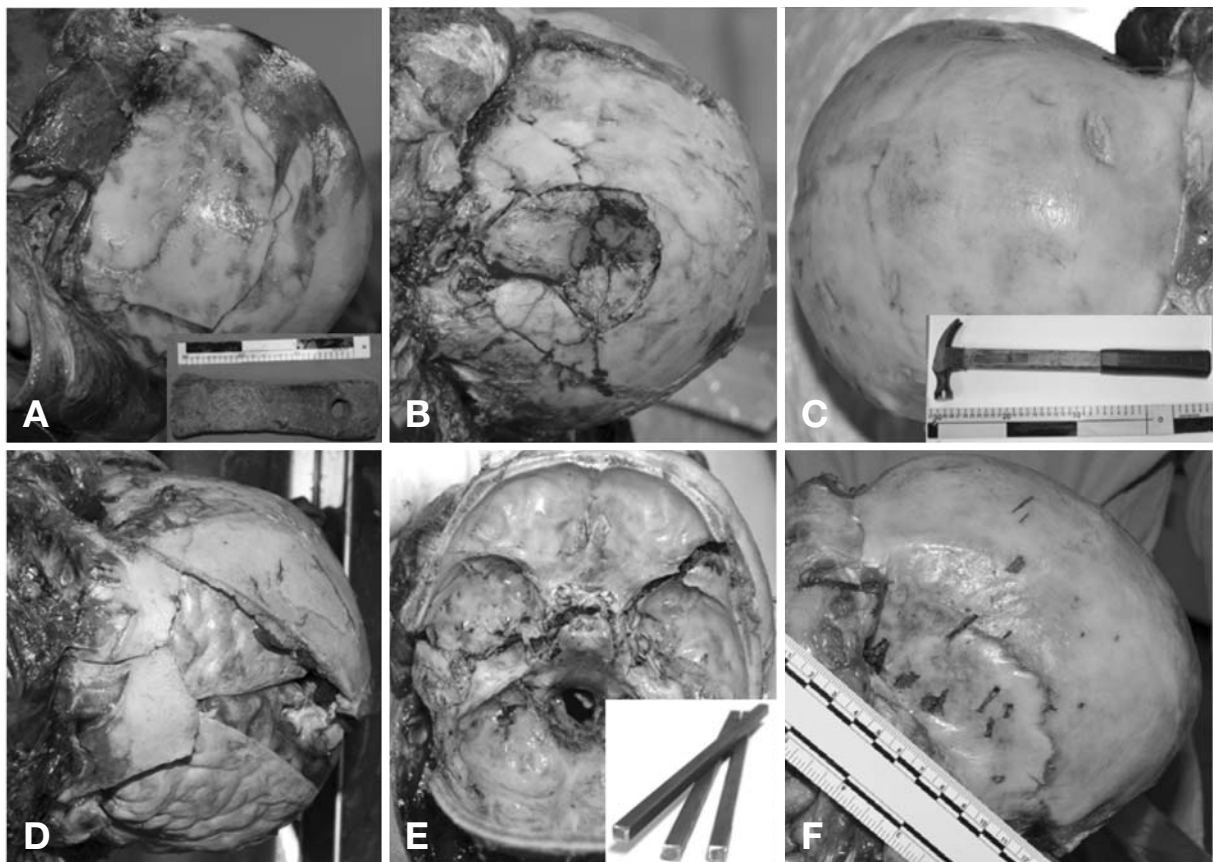


Fig. 1. Six types of cranial fracture and some of its related weapon found in crime scene; (A) linear fracture and its weapon of stone, (B) spider's web fracture, (C) depressed fracture and its weapon of hammer, (D) comminuted fracture, (E) basilar skull fracture and its weapon of steel beam, and (F) chop mark.

의 사례를 연구대상으로 하였으며, 이 중에서 남자는 37명(15~79세, 평균 45.2세)이었고 여자는 32명(10~90세, 평균 44.8세)이었다. 사건기록 및 부검감정서와 부검사진을 이용하여 머리뼈골절의 유형과 해부학적 위치 및 손상을 일으킨 도구에 대하여 후향적으로 분석한 자료를 마련하였다. 머리뼈골절의 유형은 모두 6가지로 분류하여 정의한 다음 머리뼈의 해부학적 부위에 맞추어 각 손상의 발생위치를 정리하였으며, 손상을 일으킨 도구는 날의 유무에 따라 크게 둔기와 예기로 분류하였다(Table 1과 Fig. 1). 둔기와 예기는 향후 카이제곱검증을 위하여 크게 네 종류의 아형으로 임의 지정하여 분류하였다. 이와 같은 기준을 통해 머리뼈골절 자료를 취합한 다음 컴퓨터통계프로그램(SPSS ver 15.0, SPSS Inc, IL, USA)을 이용하여 기술통계량을 구하였으며, 골절유형과 도구 사이의 연관성을 알아보기 위하여 카이제곱검증(chi-square test)을 시행하였다.

결 과

머리손상을 일으킨 도구의 유형으로는 둔기가 69건 중 60건으로 전체의 약 87.0%에 해당하였으며, 이 중에서도 망치(31.7%)와 야구방망이(16.7%)가 둔력손상의 절반에 가까운 빈도를 차지하였다. 이 외에도 아령(5.0%), 소화기(1.7%), 화분(1.7%) 등 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 도구들이 둔기로 이용된 것을 알 수 있었으며, 부검당시 손상유형으로 추론되는 소견 외에 현장에서 발견되지 않은 둔기(13.3%)도 상당한 빈도를 차지하는 것을 알 수 있었다. 한편 예기 손상의 경우 전체 머리 손상의 약 13.0%를 차지하였으며, 관련된 도구로는 비록 날은 무디나 어느 정도 중량감이 있는 손도끼(33.3%), 삽(22.2%), 다리미(11.1%)가 이용되었고, 머리뼈에 치명적인 손상을 일으킨다고 예상하기 어려운 가위(22.2%)나 부엌칼(11.1%)도 손상을 일으키는 데 일부 이용된 것을 알 수 있었다(Table 2).

골절 유형에 따른 도구의 종류를 보면 선골절(linear fracture)은 대부분의 도구들이 일으킬 수 있는 흔한 손상에 해당되었고, 거미줄모양골절(spider's web fracture)과 함몰골절(depressed fracture)을 일으키는 가장 흔한 도구는 망치(각각 54%와 33%)이었으며, 분쇄골절(comminuted fracture)은 망치를 포함하여 비교적 중량감이 나가는 도구들이 주로 관련되었다. 강철기둥(steel beam)에 의해 머리뼈바닥골절(basilar skull fracture)이 유발된 사례가 있었으며, 찍은흔적(chop mark)이 유발된 사례는

Table 2. Frequency of kinds of weapon according to types and subtypes causing cranial fractures used in this study (N=69)

Type	Subtype	Weapon	Percent (N)
Blunt	Long	Baseball bat	16.7 (10)
		Iron bar	1.7 (1)
		Iron rake	1.7 (1)
		Maul	3.3 (2)
		Steel beam	5.0 (3)
		Water-pipe	1.7 (1)
		Wooden bar	3.3 (2)
		Wooden club	1.7 (1)
		Wrench	1.7 (1)
	Short	Barbell bar	1.7 (1)
		Brick	1.7 (1)
		Dumbbell	5.0 (3)
		Extinguisher	1.7 (1)
		Flowerpot	1.7 (1)
		Glass	1.7 (1)
		Hammer	31.7 (19)
		Handle of knife	1.7 (1)
		Rock	3.3 (2)
	Unknown	Unknown	13.3 (8)
		Total	100.0 (61)
Sharp	Heavy	Flatiron	11.1 (1)
		Hand axe	33.3 (3)
		Shovel	22.2 (2)
	Light	Kitchen knife	11.1 (1)
		Scissors	22.2 (2)
			Total

대부분 예기에 의해서 발생하였는데 도구의 용도 및 모양과 밀접한 관련이 있는 손도끼(27%), 삽(27%), 다리미(9%)였으며, 재질의 특성상 강력한 충격을 주기 어렵다고 판단했던 부엌칼(18%)과 가위(18%)에 의해서도 찍은흔적이 유발된 것으로 분석되었다(Fig. 1).

골절의 유형과 머리뼈에서의 발생위치를 견주어 보면 선골절과 찍은흔적은 머리뼈의 어느 곳에서나 발생할 수 있었지만 거미줄모양골절은 마루뼈(41%)에 많이 생겼고, 함몰골절은 관자뼈(41%)에 많이 생겼으며, 분쇄골절은 머리뼈바닥(71%)에 많이 생긴 것을 알 수 있었다(Fig. 2).

카이제곱검증을 시행한 결과 머리뼈골절의 유형에 따라 유발한 도구의 종류가 서로 다른 것을 알 수 있었다($\chi^2=103.817$, $P<0.001$). 선골절은 예기보다 둔기에서 주로 발생하였고, 거미줄모양골절과 분쇄골절은 짧은 둔기에서, 함몰골절은 긴 둔기에서, 찍은흔적은 무거운 예기에서 주로 발생하는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. Association of fracture patterns and subtypes of weapon by chi-square test

Type of fracture	Number of cases with known subtypes of weapon*				Total
	Long blunt	Short blunt	Heavy sharp	Light sharp	
Linear	27 (42.2)	27 (42.2)	10 (15.6)	0 (0.0)	64 (100.0)
Spider's web	6 (16.7)	27 (75.0)	3 (8.3)	0 (0.0)	36 (100.0)
Depressed	19 (48.7)	18 (46.2)	2 (5.1)	0 (0.0)	39 (100.0)
Comminuted	5 (41.7)	7 (58.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	12 (100.0)
Basilar skull	1 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (100.0)
Chop mark	0 (0.0)	0 (0.0)	7 (63.6)	4 (36.4)	11 (100.0)
Total	58 (35.6)	79 (48.5)	22 (13.5)	4 (2.5)	163 (100.0)

*Numbers in parentheses are percentages. All comparisons, which were performed by using the Pearson chi-square test, revealed a high value ($\chi^2=103.817$) of significant difference ($P<0.001$) in prevalence of dominant weapon between the cranial fracture patterns. There were 18 cases with no recorded weapons and none of these cases counted chi-square test, and more than one type of fracture pattern represented to a single cranium in most of cases.

고 찰

백골시신에 나타난 뼈의 골절을 평가하는 것은 법의 인류학자에게 항상 큰 부담으로 작용한다. 골절이 발생한 시기가 사망이전인지, 사망 당시인지, 아니면 사망이 후인지를 가늠해야 하며, 발생 시기에 맞추어 골절을 일으킨 원인도 추론해야 한다(Wieberg와 Wescott 2008). 사망이전에 발생한 골절은 골절 주위에 치유된 흔적을 확인할 수 있기 때문에 감정에 큰 어려움이 없으나, 치유흔적이 없는 골절의 경우 사후변성에 의해 생긴 골절이라는 뚜렷한 증거가 있지 않는 한 법의인류학자는 사망무렵(perimortem)이라고 판정할 수 밖에 없고 이는 골절이 발생한 시기가 사망하기 바로 전인지, 사망하는 순간인지, 또는 사망한 이후인지를 확실하게 판정할 수 없다는 뜻이기도 하다(Kim 등 2009). 이러한 문제를 해결하기 위하여 돼지나 사슴 등의 중동물을 이용한 사후변성학(taphonomy) 연구들이 많이 시도되고 있지만 이미 죽은 동물을 이용한 실험이기에 인체 손상에 대한 간접적인 해석으로 쓰일 수 있을 뿐 실제 사람뼈를 다루는 법의인류학적 사례에 직접 적용하기에는 아직까지 무리가 있다(Calce와 Rogers 2007, Wheatley 2008).

한편 일체의 손상 없이 사망한 경우에도 자연적, 물리적 요인에 의해 사후변성학적으로 골절이 발생할 수 있는데, 법의인류학적 감정을 통해 사망무렵 골절과 사후변성학적 골절을 구별하는 것도 매우 큰 의미를 가진다(Ubelaker와 Adams 1995). 이 연구에서는 골절의 시기와 원인 도구를 알고 있는 사망무렵 골절 사례를 후향적으로 분석하여 사인과 밀접한 관련이 있는 머리뼈골절에 대한 법의인류학 자료를 마련함으로써 골절의 발생 시기와 원인을 추론하는 데 도움을 주고자 하였다.

사람에게 해를 끼치는 데 사용하는 도구는 문화 및 나라에 따라 그 종류가 다르게 나타난다고 보고되어 있으며(De La Cova 2010), 특히 외국은 총상 관련 손상이 높은 빈도를 차지하고 있는 반면 우리나라의 경우 그 빈도가 현격히 낮은 것으로 알려져 있다. 이 연구에서도 머리뼈골절을 일으킨 둔기의 종류를 보면 일상생활과 밀접한 관련이 있는 도구들이 주로 사용되었으며, 가장 많이 사용된 도구는 망치와 야구방망이었다(Table 2). 또한 망치와 야구방망이에 의한 머리뼈 손상은 선골절, 거미줄모양골절 및 함몰골절의 형태로 나타나는 것으로 분석되었기 때문에(Fig. 1) 향후 백골시신의 머리뼈에서 사망무렵에 발생한 것으로 판단되는 선골절, 거미줄모양골절 및 함몰골절이 발견되었을 때에는 둔기에 의한 손상을 가장 먼저 의심해 볼 필요가 있다. 한편 분쇄골절의 경우 중량감이 나가는 도구들 외에 망치도 높은 빈도를 차지하였는데, 이는 다루기 쉬운 망치의 특성상 한두번 가해지는 다른 도구와 달리 집중 타격으로 인해 분쇄골절이 발생한 것이 대부분이었으며 따라서 분쇄골절의 테두리를 주의 깊게 관찰하면 타격 회수에 따른 도구의 감별도 어느 정도 가능하다(Calce와 Rogers 2007).

이 연구에서 강철기둥에 의해 머리뼈바닥골절이 유발된 것으로 분석되었으나(Fig. 1), 전체 비율로 보면 머리뼈바닥골절의 발생빈도 자체는 머리뿔개뼈골절보다 매우 낮은 것을 알 수 있다(Table 2). 법의학에서 설명하는 머리뼈바닥골절의 발생기전을 보면 주로 추락이나 교통사고와 같은 거대한 외력이 머리에 가해질 때 많이 관찰되며 머리뼈바닥에 힘이 작용한 방향의 축과 평행하게 골절이 형성된다고 알려져 있어서(Zhu 등 2002), 이번 연구결과와 비교해 본다면 사람의 힘으로 도구를 사용한 경우에는 머리뼈바닥골절이 발생할 가

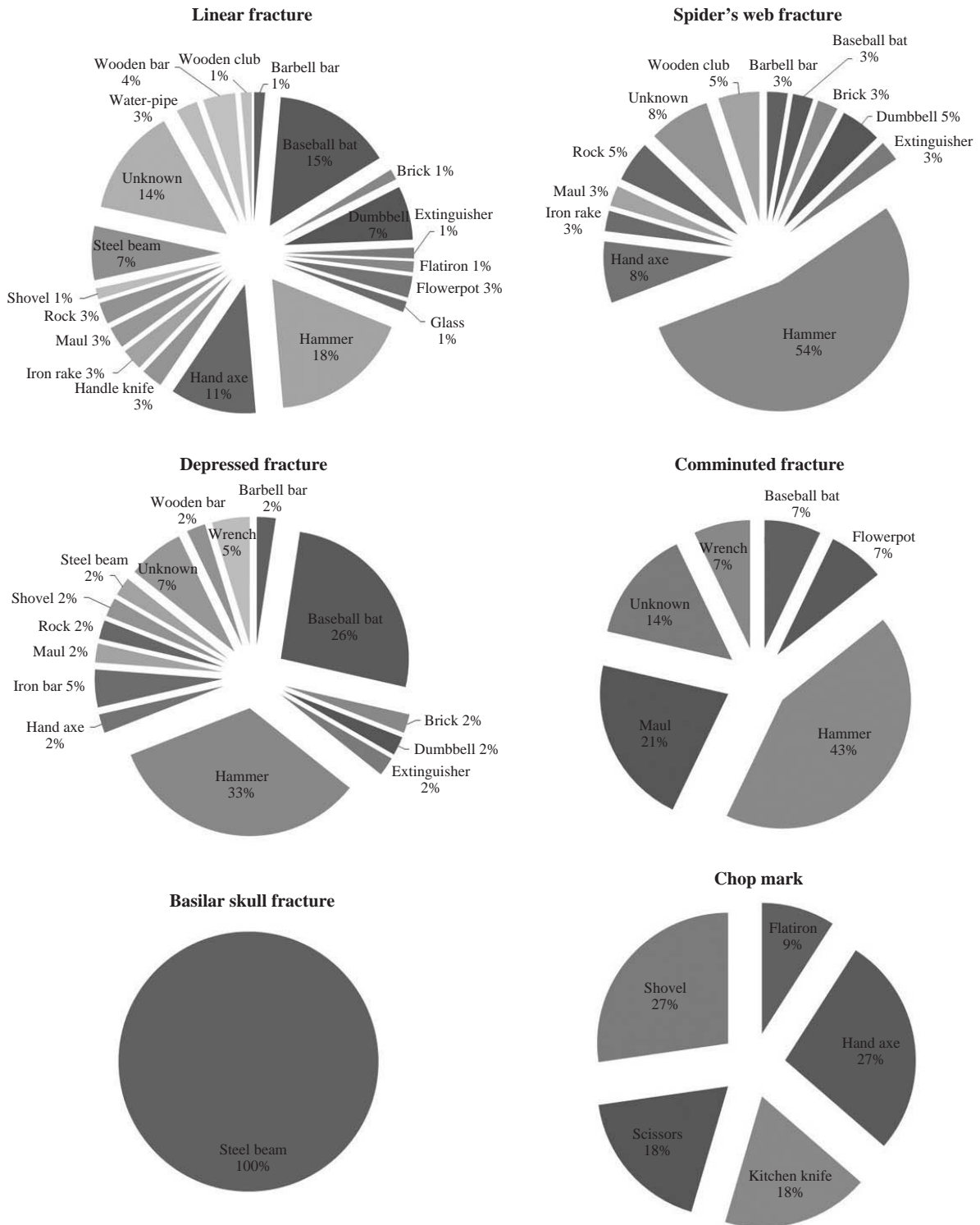


Fig. 2. Pie chart of fracture-related weapon showing the prevalence of inflicting injuries on the cranium.

능성은 매우 낮은 것으로 판단된다. 비록 둔기라 할지라도 무게가 많이 나가고 매우 큰 힘이 가해진다면 머

리뼈바닥골절이 충분히 발생할 수 있으나 이를 뒷받침할 수 있는 정황정보가 반드시 필요하며, 백골시신과

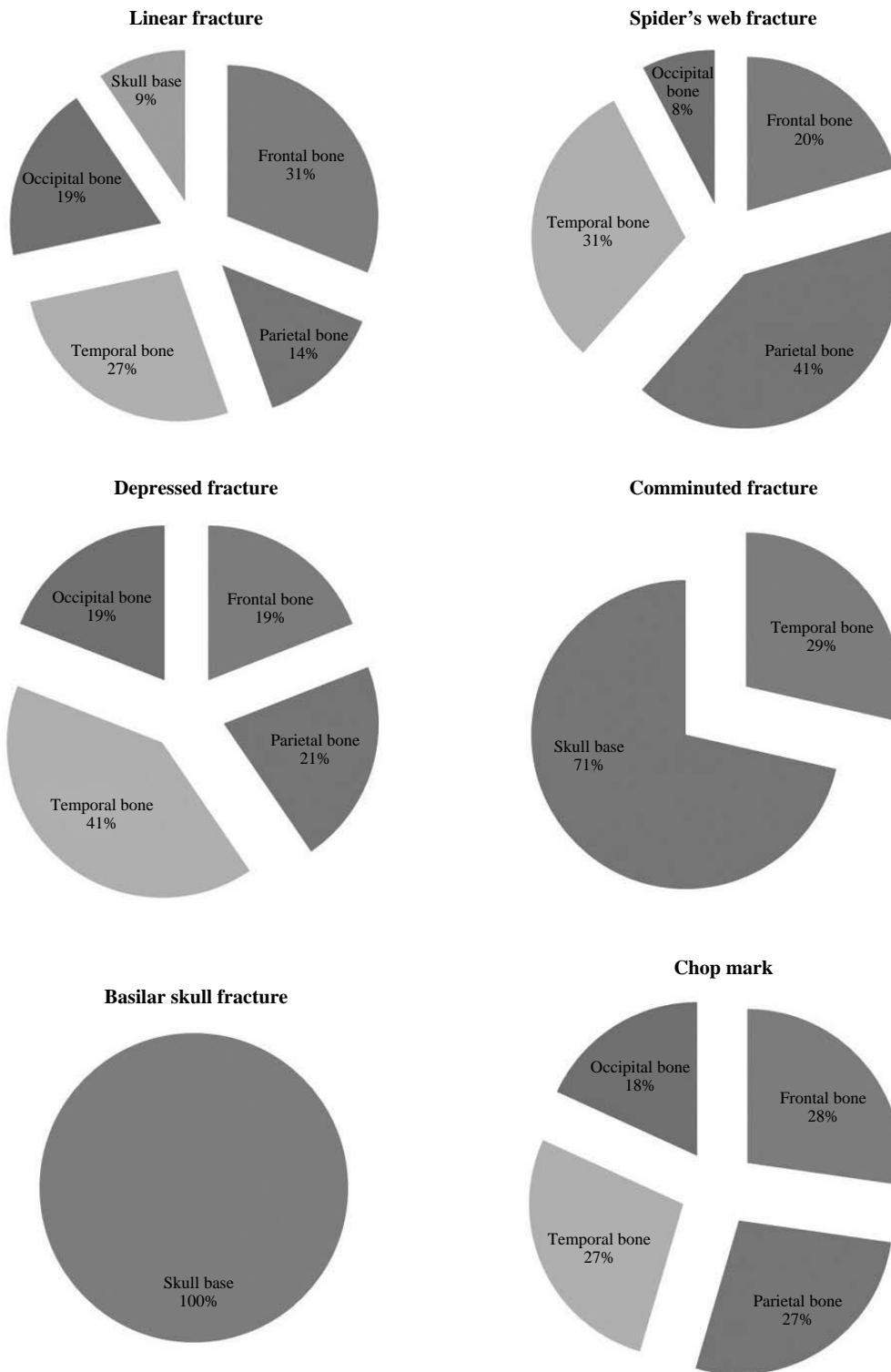


Fig. 3. Pie chart showing the prevalence of developing site according to the fracture patterns.

같이 정확정보가 부족한 경우에서 머리뼈바닥골절이 항상 유념해야 할 것이다.
 관찰 된다면 추락이나 교통사고에 의한 손상 가능성을 골절유형에 따른 머리뼈의 발생위치를 보면 머리덜

개뼈의 구조적 특성을 따르는 것으로 분석되었다(Fig. 2). 거미줄모양골절은 비교적 넓은 범위로 고르게 힘이 흡수되고 힘이 머리뼈안으로 전달되기 어려운 정도의 뼈 두께를 지닌 곳인 마루뼈에 많이 발생한 것으로 생각하였고, 함몰골절은 미처 힘이 흡수되기도 전에 뼈의 저항력이 미약한 곳인 관자뼈에 많이 발생한 것으로 생각하였다. 현재 긴뼈나 골반뼈를 대상으로 골절 기전을 밝히려는 연구가 임상의학적인 측면에서 주로 이루어지고 있으나(Stein 등 2006, Knox 등 2007), 이 연구에서의 골절 발생위치에 대한 가설을 확인하기 위해서는 앞으로 법의학 및 응급의학적인 관점에 특화시킨 머리뼈골절의 생체역학 연구가 많이 시도되어야 할 것이다.

이 연구에서 머리뼈골절의 유형에 따라 원인 도구의 종류가 통계학적으로 유의하게 다른 것을 알 수 있으며(Table 3), 이를 토대로 사망이전 및 사망이후 손상에 대한 형태학적 예시 자료로서의 역할과 함께 제시 가능한 도구의 우선순위를 결정하는 데 많은 도움을 줄 것으로 생각하였다. 특히 선골절의 경우 추락이나 전도 등의 사고성 원인으로 해석되기 쉬운데 이 연구결과를 보면 도구에 의한 머리손상의 가능성도 함상 염두해야 할 것이다. 앞으로 사례 해결을 통해 이 자료를 이용한 검증 결과를 쌓을 필요가 있으며, 또한 사망이후 골절로 판정된 사례를 모아 이 연구결과와 비교함으로써 백골시신의 사견해결에 도움을 주는 보다 객관적이고 체계적인 법의인류학자료를 만들 필요가 있다.

이 연구를 통하여 백골시신 사망의 원인과 종류를 추정하는 데 도움을 주는 법의인류학 자료를 마련할 수 있었고, 머리뼈골절의 발생기전에 대한 추가적인 체질인류학 연구설정을 제시할 수 있었으며, 우리나라의 사후변성학과 관련된 체질인류학 자료 구축의 필요성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

Byers SN : Introduction to forensic anthropology, A textbook, Boston, Allyn and Bacon, pp 1-25, 2002.

- Calce SE, Rogers TL : Taphonomic changes to blunt force trauma: a preliminary study. *J Forensic Sci* 52(3): 519-527, 2007.
- Cattaneo C, Andreola S, Marinelli E, Poppa P, Porta D, Grandi M : The detection of microscopic markers of hemorrhaging and wound age on dry bone: a pilot study. *Am J Forensic Med Pathol* 31(1): 22-26, 2010.
- De La Cova C : Cultural patterns of trauma among 19th-century-born males in cadaver collections. *Am Anthropol* 112(4): 589-606, 2010.
- Kim YS, Park DK, Lee UY, Lee SS : The human bone manual from the forensic anthropological point of view, Translated ed., Seoul. GCO Sciences Publication, pp 51-53, 2009. (in Korean)
- Knox J, Ambrose H, McCallister W, Trumble T : Percutaneous pins versus volar plates for unstable distal radius fractures: a biomechanic study using a cadaver model. *J Hand Surg Am* 32(6): 813-817, 2007.
- Kremer C, Sauvageau A : Discrimination of falls and blows in blunt head trauma: assessment of predictability through combined criteria. *J Forensic Sci* 54(4): 923-926, 2009.
- Saukko P, Knight B : Knight's forensic pathology, 3rd ed., London. Hodder Arnold, pp 184-186, 2004.
- Stein DM, O'Connor JV, Kufera JA, Ho SM, Dischinger PC, Copeland CE, Scalea TM : Risk factors associated with pelvic fractures sustained in motor vehicle collisions involving newer vehicles. *J Trauma* 61(1): 21-30, 2006.
- Ubelaker DH, Adams BJ : Differentiation of perimortem and postmortem trauma using taphonomic indicators. *J Forensic Sci* 40(3): 509-512, 1995.
- Wheatley BP : Perimortem or postmortem bone fractures? An experimental study of fracture patterns in deer femora. *J Forensic Sci* 53(1): 69-72, 2008.
- Wieberg DA, Wescott DJ : Estimating the timing of long bone fractures: correlation between the postmortem interval, bone moisture content, and blunt force trauma fracture characteristics. *J Forensic Sci* 53(5): 1028-1034, 2008.
- Zhu BL, Quan L, Ishida K, Taniguchi M, Oritani S, Fujita MQ, Maeda H : Longitudinal brainstem laceration associated with complex basilar skull fractures due to a fall: an autopsy case. *Forensic Sci Int* 126(1): 40-42, 2002.

Trauma Analysis of Cranial Fractures and Estimation of Its Related Weapon for Reference to Forensic Anthropological Decisions

Hyung Nam Goo, Yoo Hoon Kim, Seung-Gyu Choi¹, Yi-Suk Kim¹

Department of Forensic Medicine, National Forensic Service

¹*Department of Anatomy, Ewha Womans University School of Medicine*

Abstract : The role of forensic anthropology is to reconstruct the process of individual death by predicting the cause and manner of death as well as to find out biological profiles of unknown skeletal remains based on the data of physical anthropology. The purpose of this study is to suggest the data of decision-making process for cranial fractures and its related weapons of skeletal remains from the forensic fields.

A hammer (31.7%) and baseball bat (16.7%) represented almost half of the blunt type of weapon used in the cranial fracture. The linear fracture was caused by most of weapons, the spider's web and depressed fracture by the hammer, and the comminuted fracture by the heavy tools such as maul, wrench, etc as well as the hammer. By the chi-square test, there were significant differences between fracture patterns and types of weapon that it was helpful to estimate the weapon of cranial fracture for forensic anthropological decisions.

Conclusively, we could prepare the priority order of estimating cause and manner of death in the case of cranial fracture for the forensic context and suggest research design of physical anthropology about osteological biomechanics and taphonomy relating cranial fractures.

Keywords : Forensic anthropology, Cranium, Fracture, Trauma analysis, Weapon, Identification