

## 나이추정을 위한 한국인 정강뼈와 종아리뼈의 뼈조직형태학적 연구

나태록<sup>1</sup>, 김덕임<sup>2</sup>, 김이석<sup>1</sup>

<sup>1</sup>가톨릭대학교 의과대학 해부학교실·가톨릭응용해부연구소, <sup>2</sup>제명대학교 간호대학

## Assessment of Histomorphological Features of Tibia and Fibula for Age Estimation in Koreans

Tae-lok La<sup>1</sup>, Deog-Im Kim<sup>2</sup>, Yi-Suk Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Catholic Institute for Applied Anatomy · Department of Anatomy, College of Medicine, The Catholic University of Korea

<sup>2</sup>Department of Nursing, College of Nursing, Keimyung University

**Abstract** : Estimation of age at death is one of the first and most important step with sex determination and stature estimation for individual identification in physical and forensic anthropologies. Recently, histomorphological methods have attempted to estimate age at death through the osteon. In particular, it is known that the long bones are less affected by external factors and are frequently found in a complete form, and the accuracy of age estimation is also high. The purpose of this study is to help estimate age of skeletal remains, which is found by developing equations to estimate age at death using the tibia and fibula extracted from the Korean cadavers. The right tibias and fibulas of 31 Korean cadavers were extracted in anatomy dissection at medical school, and then produced and photographed bone tissue slices. Number of intact osteon (Pi) and number of fragmentary osteon (Pf), osteon population density (OPD), average osteon area (OA), relative cortical area (RCA), cortical width (CW) of each sample was measured and statistically analyzed. Seven of all measurements of the tibia and fibula had statistically significant difference between sexes ( $p < 0.05$ ). Pi of the tibia in male and Pf, OPD, RCA of the fibula in female were statistically correlated with age. In simple regression analysis, RCA of the fibula in female had highest regression coefficient (0.62) and its standard error estimate (SEE) was 8 years. Equation at multiple regression analysis which was the tibia and fibula in male had 0.44 (R-squared value) and 11 years (SEE). In female, regression coefficient was 0.91, SEE was 6 years. In this study, the results in female were higher than in male and in others. This study was the first attempt to estimate age at death and was proved the possibility of estimating age using the tibia and fibula in Korean. As a result of this study, it was found that equations suitable for sex and population-specific were needed to estimate the accurate age, using the tibia and fibula of skeletal remains in Koreans could help estimate age at death with high accuracy.

**Keywords** : Age estimation, Identification, Histomorphometry, Tibia, Fibula

\*이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2019R1F1A1063791).

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.

저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

**Received:** July 13, 2020; **Revised:** September 1, 2020; **Accepted:** September 2, 2020

**Correspondence to:** 김이석 (가톨릭대학교 의과대학 해부학교실·가톨릭응용해부연구소)

**E-mail:** jwkiss@catholic.ac.kr

## 서 론

체질인류학적, 법의인류학적으로 백골화시신의 신원확인을 위한 성별, 사망 당시 나이, 키 등을 추정하는 연구는 매우 중요하다[1-3]. 그중 사망 당시 나이의 추정은 크게 뼈의 형태학적 변화를 눈으로 확인하여 추정하는 방법과 뼈의 조직형태학적 조사를 통해 추정하는 방법으로 나눌 수 있다. 뼈의 형태학적 변화를 이용한 방법에서 나이지표로 두덩결합, 머리뼈의 봉합, 엉덩뼈의 관절면, 갈비뼈의 복장끝, 그리고 치아 등이 주로 사용된다. 이 방법은 일반적으로 간단하고 특별한 도구나 기구 없이도 나이를 추정할 수 있으나 연구자의 숙련도와 나이지표로 사용되는 뼈의 상태에 따라 그 결과값의 편차가 크게 나타나거나 심지어 나이를 추정할 수 없는 상황이 될 수 있는 단점이 있다[2,4-9]. 이러한 단점을 극복하고자 많은 연구자들이 뼈의 조직형태학적 방법을 시도하였다.

사람의 뼈는 동적이고 복잡한 미세구조로 되어 있으며 일생 동안 여러 가지 요인에 의해 형성과 재형성을 반복하여 기존의 뼈조직이 새로운 조직으로 대체되는 과정을 통해 뼈의 형태를 유지한다[4,9]. 특히 나이는 뼈의 재흡수 증가와 뼈형성 감소에 중요한 영향을 미치는 요인 중 하나로 나이가 들면 뼈단위(osteon)의 크기와 하버스관(Haversian canal)의 크기는 감소하고 뼈단위의 개수는 증가한다. 일반적으로 나이에 따른 뼈조직의 변화는 나이에 따라 서로 다른 양상을 띠며 젊은 나이보다는 50세 이상에서 그 변화가 뚜렷하다. 이러한 특징을 이용하여 치밀뼈의 조직형태학적 그리고 계층학적 방법을 통해 나이를 추정하는 연구가 진행되고 있다[4,6-11].

뼈조직을 이용한 나이추정 연구는 몸무게를 지탱하는 긴 뼈를 위주로 시작되었고, 그 후 외부요인으로부터 영향을 덜 받는 갈비뼈를 이용하였다. 그 외 뒤통수뼈, 아래턱뼈, 빗장뼈, 갈비뼈 등 다양한 뼈를 대상으로 조직형태학적 나이추정 연구가 진행되었다. 그중 갈비뼈와 넓다리뼈를 포함한 다리의 뼈가 가장 많이 사용되었으며 나이추정의 정확도가 높다고 알려져 있다[2,6-12]. 치밀뼈의 뼈단위를 이용한 방법은 발견된 뼈가 온전한 상태가 아니거나 손상이 심한 경우에도 조직표본을 만들 수 있다면 나이추정이 가능하다는 장점이 있다. 갈비뼈의 경우 높은 회귀계수와 작은 표준추정오차값을 나타내어 나이추정에 적합한 뼈이나 긴뼈에 비해 상대적으로 손상 또는 소실되어 발견되는 경우가 많으며 나이추정에 사용되는 네째갈비뼈와 같은 특정 부위를 구별하기 힘들다는 단점이 있다. 그에 비해 다리의 뼈는 치밀뼈가 잘 발달되었으며 뼈몸통부분은 외부요인에 영향을 적게 받고 해부학적으로 쉽게 구별할 수 있으며 손실의 정도가 적어 발견

되는 경우가 많다[9-15]. 이와 같은 뼈의 해부학적, 조직형태학적 특징은 짧은 시간 동안 그리고 시대에 따라 변화되는 것이 아니기 때문에 대상의 시대적 범위를 넓게 확대할 수 있다는 장점이 있어 최근 나이추정에 뼈의 형태를 이용한 방법보다 뼈조직을 이용한 방법을 더 많이 사용하고 있다[4,8-10]. 하지만 다리의 뼈 중 넓다리뼈를 이용한 나이추정 방법은 다양한 연구가 진행되고 있지만 정강뼈나 종아리뼈를 이용한 연구는 거의 없다. 특히 한국인의 경우 사망 당시 나이를 추정하기 위한 종아리의 뼈조직형태학적 연구는 아직 없다.

이 연구의 목적은 한국인의 정강뼈와 종아리뼈 몸통 일부를 추출, 연마하여 뼈조직슬라이드를 만들고 뼈조직형태학적 연구를 통해 백골화시신으로 발견되는 한국인의 사망 당시 나이를 추정할 수 있는 적합한 방법식을 제안하는 것에 있다.

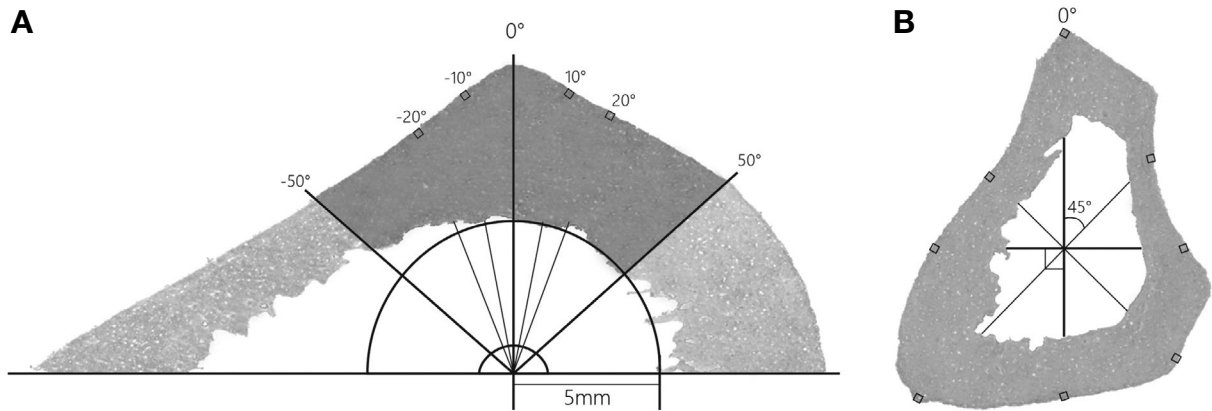
## 재료 및 방법

가톨릭대학교 의과대학 해부학실습에 사용된 시신 31구의 오른쪽 정강뼈와 종아리뼈를 사용하였다. 사용된 시신은 남자가 21구, 여자가 10구이며 평균 나이는 67.3세로 남자는 65.6세, 여자는 70.8세였다. 시신의 연령분포는 Table 1과 같다.

정강뼈와 종아리뼈는 물렁조직을 제거한 후 뼈몸통부위를 가로절단하여 2 cm의 뼈 표본을 수집하였다. 수집한 뼈 표본은 조직슬라이드를 만들기 전 준비단계로 Watanabe 등의 방법을 사용하였다[15]. 정밀절단기(IsoMet 1000, Buehler Co., Lake Bluff, IL, USA)를 사용하여 대략 100  $\mu\text{m}$  간격으로 각각 연속 2장의 만든 후 Maat 등의 방법[17]으로 연마하여 총 124장의 얇은 뼈조직슬라이드를 생성하였다(Fig. 1). 만들어진 뼈조직슬라이드는 광학현미경(Olympus BX51T, Olympus Co., Japan)과 현미경카메라(IN1420, SPOT Imaging Inc., Sterling Heights, MI, USA)에 편광필터와 0.25 mm<sup>2</sup>의 격자를 부착한 대물렌즈를 필요에 따라 이용하여 촬영하였다. 조직형태학적 연구를 통해 연령을 추정 한 Kim 등의 연구방법[2]을 이 연구에 맞게 일부 수정하여

**Table 1.** Age distribution of samples

Age	Pooled	Males	Females
41~50	3	3	0
51~60	7	4	3
61~70	8	7	1
71~80	8	4	4
81~90	5	3	2
Total	31	21	10



**Fig. 1.** Microscopic measuring fields for the tibia and fibula. Specimens were analyzed by counting and sizing osteon with light microscope attached with polarized filter. A, Total five areas (zero degree,  $\pm 10$  degree,  $\pm 20$  degree) for the tibia; B, Total eight areas (in every direction by each 45 degree) for fibula.

**Table 2.** Descriptive statistics of histomorphological measurements from the tibia and fibula

(unit:  $\#/mm^2$ )

	Measurements	Pooled (n = 31)	Males (n = 21)	Females (n = 10)	p-value
Tibia	Pi	14.150 $\pm$ 2.800	13.390 $\pm$ 2.375	15.746 $\pm$ 3.069	0.050
	Pf	7.936 $\pm$ 2.645	6.838 $\pm$ 1.415	10.242 $\pm$ 3.184	0.008
	OPD	22.086 $\pm$ 4.966	20.228 $\pm$ 3.407	25.988 $\pm$ 5.605	0.011
	OA ( $mm^2$ )	0.024 $\pm$ 0.003	0.024 $\pm$ 0.003	0.023 $\pm$ 0.004	0.372
	CW (mm)	5.00 $\pm$ 1.071	5.323 $\pm$ 0.958	4.330 $\pm$ 1.021	0.013
Fibula	Pi	14.063 $\pm$ 1.665	13.990 $\pm$ 1.752	14.219 $\pm$ 1.540	0.727
	Pf	10.509 $\pm$ 2.359	9.500 $\pm$ 1.513	12.628 $\pm$ 2.470	0.003
	OPD	24.572 $\pm$ 3.310	23.489 $\pm$ 2.713	26.846 $\pm$ 3.418	0.006
	OA ( $mm^2$ )	0.024 $\pm$ 0.003	0.024 $\pm$ 0.003	0.024 $\pm$ 0.004	0.944
	RCA (ratio)	0.263 $\pm$ 0.071	292.810 $\pm$ 42.300	199.240 $\pm$ 79.502	0.005

Pi, number of intact osteon; Pf, number of fragmentary osteon; OPD, osteon population density; OA, average osteon area; CW, cortical width; RCA, relative cortical area.

촬영한 뼈조직의 영상을 영상분석 프로그램인 Image-pro Plus 4.5.1 (Media Cybermetrics, Inc., Silver Spring, MD, USA)을 이용하여 정강뼈와 종아리뼈 각각의 뼈단위개수 (number of intact osteon, Pi), 조각뼈단위개수 (number of fragmentary osteon, Pf), 단위뼈단위밀도 (osteon population density, OPD), 평균뼈단위면적 (average osteon area, OA), 상대적겉질비율 (relative cortical area, RCA), 겉질 길이 (cortical width, CW)를 측정하였다. 조각뼈단위 (fragmentary osteon)는 뼈단위 (intact osteon) 중에서 중심관 영역이 50% 이상 침식된 것으로 정의하였고, 단위뼈단위밀도 (OPD)는 단위 면적당 뼈단위개수 (Pi)와 조각뼈단위개수 (Pf)의 합으로 정의하였다. 평균뼈단위면적 (OA)을 구하기 위해 단위 면적당 뼈단위들의 평균 넓이를 계산하였고, 상대적겉질비율 (RCA)을 구하기 위해 종아리뼈의 가로단면에

서 해면뼈 대비 겉질 영역의 비율을 계산하였으며, 겉질길이 (CW)를 구하기 위해 정강뼈의 앞모서리를 지나는 정중시상면에서 겉질앞부분의 두께를 측정하였다.

각 측정항목은 한 연구자가 연속 2장의 뼈조직슬라이스에서 측정하였고 그 값이 통계학적으로 유의한 차이가 없음을 확인한 후 평균값을 통계분석에 사용하였다. 측정값은 통계프로그램 SPSS version 20.0 (SPSS Inc., IBM, Chicago, IL, USA)을 사용하여 평균과 표준편차, 공분산분석, 상관관계, 회귀분석을 시행하였다.

## 결 과

측정항목의 기술통계 값은 Table 2와 같다. 측정항목 중

**Table 3.** Results of multivariate and univariate analysis of covariance for the pooled and both sexes from the tibia and fibula

	Parameter	B	t	Significance	Partial $\eta^2$	
<b>Tibia</b>	<b>Multivariate</b>					
	Intercept	—	—	0.000	0.857	
	Age	—	—	0.053	0.252	
	Sex	—	—	0.007	0.367	
	<b>Univariate*</b>					
	OPD	Intercept	10.513	2.837	0.008	0.233
		Age	0.148	2.691	0.012	0.205
		Sex	4.985	3.331	0.002	0.284
	OA	Intercept	0.025	7.291	0.000	0.655
		Age	0.000	-0.199	0.844	0.001
		Sex	-0.001	-0.869	0.392	0.026
	CW	Intercept	5.395	5.594	0.000	0.528
		Age	-0.001	-0.077	0.939	0.000
		Sex	-0.986	-2.531	0.017	0.186
	<b>Fibula</b>	<b>Multivariate</b>				
		Intercept	—	—	0.000	0.926
		Age	—	—	0.077	0.228
		Sex	—	—	0.003	0.415
<b>Univariate*</b>						
OPD		Intercept	17.380	6.540	0.000	0.604
		Age	0.093	2.359	0.026	0.166
		Sex	2.870	2.674	0.012	0.203
OA		Intercept	0.024	7.804	0.000	0.685
		Age	0.000	0.083	0.934	0.000
		Sex	0.000	0.065	0.948	0.000
RCA		Intercept	379.160	7.129	0.000	0.645
		Age	-1.317	-1.666	0.107	0.090
		Sex	-86.684	-4.035	0.000	0.368

OPD, osteon population density; OA, average osteon area; CW, cortical width; RCA, relative cortical area.

\*The parameter of each dependent variable, [Sex = M], is set to zero.

정강뼈의 OA, 종아리뼈의 Pi와 OA를 제외한 나머지 7개 항목은 남녀 간 통계학적으로 유의한 차이가 있었다. 공분산의 다변량분석에서 정강뼈와 종아리뼈 모두에서 성별은 통계학적으로 유의하였으나( $p < 0.05$ ) 연령은 유의하지 않았다(Table 3). 나이와 각 항목별 상관관계에서 남자는 정강뼈의 Pi만 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었다( $p < 0.05$ ). 여자는 종아리뼈의 Pf, OPD, RCA 항목이 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었으나 정강뼈와는 유의한 상관관계가 있는 항목은 없었다(Table 4).

단순회귀분석에서 성별을 구별하지 않은 경우 정강뼈와 종아리뼈 모두 OPD가 가장 회귀계수가 높았다. 정강뼈 OPD의 회귀계수는 0.228, 표준추정오차값은 11.55년이었

고, 종아리뼈 OPD의 회귀계수와 표준추정오차값은 0.196와 11.78년이였다. 남자의 경우 회귀계수가 가장 높은 항목은 정강뼈와 종아리뼈 모두 Pi (0.193, 0.138)로 표준추정오차값은 각각 12.04년과 12.44년이였다. 여자는 정강뼈의 CW 회귀계수는 0.378, 표준추정오차값은 10.47년이였으며 종아리뼈의 RCA는 회귀계수가 0.62, 표준추정오차값이 8.18년이였다(Table 5).

성별을 구별하지 않고 정강뼈의 모든 항목을 입력하여 다중회귀분석한 결과 회귀계수는 0.273, 표준추정오차는 11.61년이였다. 종아리뼈의 모든 항목을 입력하여 분석한 결과에서 표준추정오차는 11.85년, 회귀계수는 0.242이였다. 성별은 분리하고 정강뼈와 종아리뼈의 항목을 모

**Table 4.** Pearson correlation coefficient table among measurements, top left shows in males and bottom right is in females

	Males (n = 21)														
	Age					Tibia					Fibula				
	Pi	Pf	OPD	OA	CW	Pi	Pf	OPD	OA	CW	Pi	Pf	OPD	OA	RCA
Age															
Tibia	Pi	0.357													
	Pf	0.587													
	OPD	0.529	0.900§												
	OA	-0.153	-0.614	0.942*											
	CW	-0.615	-0.338	0.826*	0.428										
Fibula	Pi	0.537	0.666§	0.426	0.607										
	Pf	0.700§	0.486	0.934*	0.797*	0.377									
	OPD	0.748§	0.652§	0.867*	0.849*	0.422	0.756§								
	OA	-0.342	-0.327	0.048	-0.151	-0.540	0.913*	0.346							
	RCA	-0.788*	0.020	-0.576	-0.316	-0.059	-0.687§	-0.523	-0.167						

Pi, number of intact osteon; Pf, number of fragmentary osteon; OPD, osteon population density; OA, average osteon area; CW, cortical width; RCA, relative cortical area. OPD is Pi plus Pf.

Pale gray cells expressed Pearson correlation coefficient in females.

Bold figures were difference Pearson correlation coefficient between males and females.

\*It was statistically significant difference between variables (p<0.01).

§It showed statistically significant difference between variables (p<0.05).

**Table 5.** Histomorphological variables versus age for the pooled and both sexes of the tibia and fibula by simple regression analysis

	Measurements	Intercept	Slope	SEE*	R square	p-value
<b>Tibia</b>	<b>Pooled (n = 31)</b>					
	Pi	38.417	2.038	11.787	0.195	0.013
	Pf	50.660	2.092	11.873	0.183	0.016
	OPD	39.842	1.241	11.546	0.228	0.007
	OA	73.429	-258.508	13.107	0.005	0.711
	CW	73.140	-1.176	13.076	0.009	0.602
	<b>Males (n = 21)</b>					
	Pi	33.231	2.415	12.037	0.193	0.046
	Pf	47.152	2.694	12.815	0.085	0.199
	OPD	34.425	1.639	12.113	0.183	0.053
	OA	64.117	59.915	13.397	0.000	0.947
	CW	46.578	3.568	12.932	0.068	0.252
	<b>Females (n = 10)</b>					
	Pi	47.879	1.456	12.400	0.127	0.311
	Pf	47.190	2.305	10.751	0.344	0.075
	OPD	40.128	1.180	11.268	0.279	0.116
	OA	82.950	-527.722	13.118	0.023	0.673
	CW	103.445	-7.538	10.466	0.378	0.058
<b>Fibula</b>	<b>Pooled (n = 31)</b>					
	Pi	21.407	3.260	11.923	0.177	0.019
	Pf	48.564	1.779	12.426	0.106	0.075
	OPD	24.789	1.728	11.780	0.196	0.013
	OA	65.370	78.168	13.136	0.000	0.922
	RCA	83.955	-0.064	12.306	0.123	0.053
	<b>Males (n = 21)</b>					
	Pi	26.891	2.765	12.443	0.138	0.098
	Pf	67.321	-0.184	13.396	0.000	0.927
	OPD	39.816	1.096	13.047	0.052	0.321
	OA	34.295	1296.585	12.951	0.066	0.262
	RCA	59.805	0.020	13.372	0.004	0.784
	<b>Females (n = 10)</b>					
	Pi	8.806	4.360	11.202	0.288	0.110
	Pf	26.015	3.547	9.481	0.490	0.024
	OPD	-2.682	2.737	8.817	0.559	0.013
	OA	96.577	-1064.202	12.474	0.117	0.334
	RCA	95.503	-0.124	8.179	0.620	0.007

Pi, number of intact osteon; Pf, number of fragmentary osteon; OPD, osteon population density; OA, osteon area; CW, cortical width; RCA, relative cortical area.

\*SEE means standard error of estimate and unit of it is years.

두 입력하여 다중회귀분석한 결과 남자의 경우 회귀계수는 0.449, 표준추정오차는 11.58년이었고, 여자의 경우 회귀계수는 0.91, 표준추정오차는 6.5년이였다(Table 6).

## 고 찰

조직형태학적 방법은 뼈를 이용한 나이추정에서 매우 유용한 것으로 알려져 있다. 사람의 뼈조직은 성별이나 인구집

**Table 6.** Age-predicting equations conducted from multiple regression analysis

Equation	Multiple $r^2$	SEE
For tibia in pooled sexes Age = 3.432 + 1.635 OPD + 891.938 OA + 1.285 CW	0.273	11.611
For fibula in pooled sexes Age = 6.141 - 0.015 RCA + 1.847 OPD + 814.898 OA	0.242	11.853
For tibia and fibula in males Age = 1.306 tOPD - 107.468 tOA + 4.902 CW + 0.037 fRCA + 2782.508 fOA + 1.277 fOPD - 97.347	0.449	11.584
For tibia and fibula in females Age = 109.027 - 0.193 tOPD - 532.140 tOA - 3.313 CW - 0.101 fRCA + 0.989 fOPD - 539.395 fOA	0.910	6.497

t, tibia; f, fibula; OPD, osteon population density; OA, average osteon area; CW, cortical width; RCA, relative cortical area.

\*SEE: Standard error of estimate (years).

단, 그리고 인류진화과정과는 상관없이 본질적으로 변하지 않은 상태로 남아 있으며 이러한 특징을 이용한 나이추정 방법은 백골화시신의 체질인류학적, 법의인류학적 연구에서 사용되고 있다. 백골화시신의 사망 당시 나이추정은 신원화인의 한 단계일 뿐만 아니라 개인의 질환이나 사회경제활동 정도와 같은 생활양식, 그리고 살아 생전의 사회상 등을 파악할 수 있다[4,10,18].

1965년 Kerly [12]가 뼈조직을 이용한 사망 당시 나이추정방법을 소개한 이후 나이추정을 위한 다양한 방법, 다양한 뼈의 조직형태학적 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [2,6-11]. 그중 갈비뼈와 넓다리뼈를 이용한 연구가 가장 많지만 갈비뼈나 빗장뼈와 같은 몸통뼈는 외부환경요인들에 의해 부서지기 쉽고 특히 땅에 오랜 시간 묻혀 있었던 뼈는 종종 발굴되지 않기도 한다. 이와 같이 발굴되는 뼈들은 주위 여러 가지 요인들에 의해 그 종류와 온전함의 정도에 차이가 많아 지금까지 알려져 있는 사망 당시 나이추정에 유용한 뼈 이외에 전신 뼈대의 조직학적 연구를 통해 나이추정 자료를 마련할 필요가 있다[10,11,19]. 몸통뼈들과 팔의 뼈에 비해 크고 좀 더 단단한 다리의 뼈는 발견되는 빈도와 형태의 온전함, 그리고 높은 정확도로 선호되는 부위이다 [3,10,16].

종아리를 이루는 정강뼈와 종아리뼈는 넓다리뼈와 같이 몸무게를 지탱하는 뼈이며 몸통의 뼈에 비해 사망 후 외부요인에 의해 손상되거나 소실되는 빈도가 낮고 개개인의 삶의 주기에 따라 뼈의 미세구조에 일정한 변화가 발생된다 [3,16]. 뼈에 가해지는 압력이나 스트레스와 같은 요인으로 같은 뼈에서도 그 위치에 따라 뼈의 형성과 재형성이 다르다. 이러한 뼈에 영향을 주는 압력이나 스트레스는 근육의 움직임뿐만 아니라 나이의 증가로도 유발되며 이것은 뼈의

미세한 손상을 발생시킨다. 이러한 변화들을 통해 뼈재형성이 나이들과 상당히 예측가능한 관계를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 뼈재형성에 영향을 미치는 이러한 여러가지 요인들을 고려하였을 때 긴뼈의 뼈끝보다는 뼈몸통에서, 뒤쪽보다는 앞쪽에서, 그리고 일부분보다는 모든 부분을 포함하는 뼈조직슬라이드를 만드는 것이 좋다[4,10,13].

뼈조직형태학적 방법에서 항목은 연구마다 서로 차이가 있으나 공통적으로 단위뼈단위밀도(osteon population density, OPD)가 나이와 가장 관련이 있었고, 인구집단 간 유의한 차이가 있었으며, 계측자 간 통계학적으로 유의한 차이가 없었던 항목이다[8-10]. 이 연구에서는 단순회귀분석에서 성별을 구별하지 않은 경우 정강뼈와 종아리뼈의 OPD 항목이 다른 항목들에 비해 회귀계수는 각각 0.228과 0.196으로 높았고 표준추정오차는 약 11년이었다. 다중회귀분석에서 표본의 성별을 구별하지 않은 경우보다 남자와 여자 각각 따로 분석한 것이 회귀계수나 표준추정오차값이 더 좋았다. 특히 여자의 경우 정강뼈와 종아리뼈 모두를 사용한 방정식은 회귀계수가 0.91이었고 표준추정오차도 6.5년으로 한국인 갈비뼈를 이용한 Kim 등[2]의 다중회귀분석 회귀계수 0.839보다 높았다. 한편, 한국인이 아닌 인구집단에서 다양한 뼈를 대상으로 한 선행연구의 회귀계수와 표준추정오차값을 살펴보면, 갈비뼈에서는 각각 0.569~0.865와 3.8~12.6년, 넓다리뼈에서는 0.60~0.862와 7.0~14.8년, 정강뼈에서는 0.703~0.818과 7.5~9.5년, 위팔뼈에서는 0.729~0.909과 6.2~11.5년, 자뼈에서는 0.654~0.851과 7.8~10.5년으로 보고되어 있는 등[2,7,16,20], 인구집단과 연구 대상의 표본수 및 뼈조직 계측 변수의 차이에 따라 회귀계수 및 표준추정오차값의 범위가 다양하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 향후 표본의 연령분포 및

계측 항목을 표준화시키고, 표본을 구성하는 성비 및 각 성별의 연령분포를 고르게 분포시킨 추가 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 생각하였다.

Kerly [12]는 다리의 3개뼈를 이용한 조직형태학적 연구에서 백골화시신의 성별이나 인구집단을 모르는 경우에도 나이의 추정이 가능하다고 하였고 Matt 등[7]도 나이추정에 있어 성별은 고려하지 않아도 가능하다고 하였다. 하지만 최근 연구에서는 뼈조직의 변화에 영향을 주는 영양, 질병, 환경, 날씨, 신체적 활동정도, 신체비만지수, 사회경제적 상황과 같은 요인들과 인구집단, 그리고 성별도 고려해야 한다고 하였다[10,11,21]. 이 연구의 결과에서도 다중회귀분석한 결과 성별을 구별하지 않은 경우보다 성별을 구별하여 분석한 경우의 회귀계수와 표준추정오차값이 더 좋았다. 회귀분석 결과 여자가 남자에 비해 전체적으로 회귀계수와 표준추정오차값이 좋았으며 특히 다중회귀분석에서는 여자의 정강뼈와 종아리뼈를 이용한 방정식의 회귀계수는 0.91, 표준추정오차값은 6.5년으로 가장 정확도가 높았다. 중년 이상의 여자는 폐경(menopause)이라는 생리학적 변화로 인해 뼈실질의 소실이 가속화되고 그로 인하여 새로운 뼈단위가 많이 생성되어 뼈의 재형성에 영향을 미친다는 연구가 있으며 [10,21,22], 이 연구에서 사용된 여자 시신의 경우 모두 50세 이상으로 폐경과 관련 있어 남자의 경우와 다른 결과를 나타낸 것으로 추측하였다. 이러한 영향은 남성에서는 정강뼈의 Pi만, 여성에서는 종아리뼈의 Pf, OPD, RCA 항목이 통계적으로 유의한 상관관계를 나타낸 것처럼 변수들 사이의 상관관계를 본 결과에서도 마찬가지였다(Table 4). 하지만 이 연구에서 사용된 여자 시신의 수가 적고 50세 미만의 표본은 없었기 때문에 추후 표본 크기를 늘리고 젊은 연령대의 표본을 확보하여 뼈조직형태에 미치는 폐경의 영향을 확인할 필요가 있다고 생각하였다.

뼈의 조직학적 형태는 많은 외부 요인, 특히 신체활동이나 영양상태, 날씨 등에 영향을 많이 받기 때문에 발굴된 백골화시신의 사회시대적 상황을 파악하고 고려하는 것이 필요하다. 사회시대적 상황을 파악하기 위해서는 다양한 분야의 전문가들과 함께 발굴된 곳의 토양과 같은 주변환경과 뼈조직학적 계측값, 질병에 의한 뼈조직형태학적 변화 등을 복합적으로 적용해야 한다[9,16,19]. 한국에서 6년 동안 발견된 백골화시신의 뼈 종류와 개수를 정리한 결과 넙다리뼈가 가장 많이 발견되었으나 종아리의 뼈도 45% 이상 발견되었으며 발견된 뼈 중 온전한 형태로 발견된 빈도는 거의 90%에 달하였다[3]. 또한 조선시대 문화유적지와 고려시대 무덤에서 온전한 형태 또는 손상되었으나 뼈의 종류를 구별할 수 있는 다리뼈가 발굴되는 빈도도 높았다[23,24].

지금까지 발표된 연구들의 결과, 같은 종류의 뼈를 사용하

여 같은 종류의 항목을 계측하였으나 인구집단마다 회귀계수와 표준추정오차값이 가장 좋았던 것이 서로 다르고 성별에 따라 그 결과값이 달랐고, 동일인으로부터 서로 다른 종류의 뼈를 채취하여 시행한 연구는 많지 않았기 때문에 이 연구를 통해 부위별 뼈의 재형성 정도가 다른 것을 확인할 수 있었으며 이러한 결과들을 토대로 인구집단과 성별 및 뼈 부위를 고려한 연령 추정 방식이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 한국인의 백골화시신뿐만 아니라 발굴된 옛사람의 다리뼈, 특히 종아리의 뼈를 사용하여 조직형태학적 방법으로 좀 더 정확한 사망 당시 나이를 추정할 수 있을 것이며 이것을 이용하여 발굴된 시대의 생활양식, 신체비만지수, 건강상태나 날씨 등 그 시대의 생활상도 유추할 수 있을 것이다.

## REFERENCES

1. Thompson T, Black S. Forensic human identification: An introduction. CRC Press. Boca Raton USA; 2007. pp. 199-226.
2. Kim YS, Kim DI, Park DK, Lee JH, Chung NE, Lee WT, et al. Assessment of histomorphological features of the sternal end of the fourth rib for age estimation in Koreans. *J Forensic Sci.* 2007;52:1237-42.
3. Kim DI, Lee SS, Kim YS. Statistical analysis of bone elements excavated from the forensic context. *Korean J Phys Anthropol.* 2010;23:1-8. Korean.
4. Keough N, L'Abbé EN, Steyn M. The evaluation of age-related histomorphometric variables in a cadaver sample of lower socioeconomic status: implications for estimating age at death. *Forensic Sci Int.* 2009;191:114.e1-6.
5. Mays S. The effect of factors other than age upon skeletal age indicators in the adult. *Ann Hum Biol.* 2015;42:332-41.
6. Latham KE, Finnegan M. Age estimation of the human skeleton. C. C. Thomas Pub. Springfield USA; 2010. pp. 193-209.
7. Maat GJ, Maes A, Aarents MJ, Nagelkerke NJ. Histological age prediction from the femur in a contemporary Dutch sample. The decrease of nonremodeled bone in the anterior cortex. *J Forensic Sci.* 2006;51:230-7.
8. Botha D, Steyn M, Lynnerup N. Histological age-at-death estimation in white South Africans using stereology. *Int J Legal Med.* 2019;133:1957-65.
9. Botha D, Bhagwandin A, Lynnerup N, Steyn M. The use of stereological methods in the histomorphometric assessment of bone for age-at-death estimation. *Forensic Sci Int.* 2018;290:353.e1-7.
10. Goliath JR, Stewart MC, Stout SD. Variation in osteon histo-

- morphometrics and their impact on age-at-death estimation in older individuals. *Forensic Sci Int.* 2016;262:282.e1-6.
11. Nor FM, Pastor RF, Schutkowski H. Age at death estimation from bone histology in Malaysian males. *Med Sci Law.* 2015;54:203-8.
  12. Kerley ER. The microscopic determination of age in human bone. *Am J Phys Anthropol.* 1965; 23:149-64.
  13. Chan AH, Crowder CM, Rogers TL. Variation in cortical bone histology within the human femur and its impact on estimating age at death. *Am J Phys Anthropol.* 2007;132:80-8.
  14. Kim DI, Lee SS, Kim YS. Statistical analysis of bone elements excavated from the forensic context. *Korean J Phys Anthropol.* 2010;23:1-8.
  15. Kim DI, Han SH, Kim YS, Park DK, Lee UY, Chung IH. Evaluation of the rib seriation using analysis of quantitative methods in Koreans. *Korean J Phys Anthropol.* 2009;22:127-37.
  16. Maat GJ, Van Den Bos RP, Aarents MJ. Manual preparation of ground sections for the microscopy of natural bone tissue: update and modification of Frost's "rapid manual method". *Int J Osteoarchaeol.* 2001;11:366-74.
  17. Watanabe Y, Konishi M, Shimada M, Ohara H, Iwamoto S. Estimation of age from the femur of Japanese cadavers. *Forensic Sci Int.* 1998;98:55-65.
  18. Stout SD, Teitelbaum SL. Histomorphometric determination of formation rates of archaeological bone. *Calcif Tiss Res.* 1976;21:163-9.
  19. Peck JJ, Stout SD. Intraskelatal variability in bone mass. *Am J Phys Anthropol.* 2007;132:89-97.
  20. Thompson DD. The core technique in the determination of age at death in skeletons. *J Forensic Sci.* 1979;24:902-15.
  21. Friedl L, Eisova S, Holliday TW. Re-evaluation of Pleistocene and Holocene long bone robusticity trends with regards to age-at-death estimates and size standardization procedures. *J Hum Evol.* 2016;97:109-22.
  22. Martin RB. On the significance of remodeling space and activation rate changes in bone remodeling. *Bone.* 1991;12:391-400.
  23. Kim DI, Lee UY, Kim YS, Park DK, Lee SS, Han SH. Physical anthropological study of excavated bones from Siheung cultural remains. *Korean J Phys Anthropol.* 2011;24:17-30.
  24. Kim YS, Oh CS, Lee SJ, Kim MJ, Choi SG, Min SR, Lee NL, Ha MS, Bok GD, Shin DH. Construction of medieval skeleton collections with human remains from tombs of Goryeo Dynasty, Korea. *Korean J Phys Anthropol.* 2010;23:113-23.

**간추림** : 사망 당시 나이추정은 체질인류학과 법의인류학분야에서 성별판별, 키추정과 함께 신원확인을 위한 중요한 요소 중 하나이다. 최근 사망 당시 나이를 추정하는 방법 중 뼈단위를 이용한 조직형태학적 방법이 많이 사용되고 있으며 사람의 뼈 중 긴뼈는 외부요인에 영향을 적게 받고 온전한 형태로 발견되는 빈도가 높으며 나이추정의 정확도도 높다고 알려져 있다. 이 연구의 목적은 한국인 시신에서 추출한 종아리의 뼈를 이용하여 사망 당시 나이를 추정할 수 있는 방정식을 만들어 발견되는 백골화시신의 사망 당시 나이추정에 도움을 주는 것에 있다. 의과대학 해부학실습에 사용된 31구의 시신에서 오른쪽 정강뼈와 종아리뼈를 추출하여 뼈조직슬라이스를 생성하고 촬영하였다. 정강뼈와 종아리뼈 각각의 뼈조직슬라이스에서 뼈단위개수(Pi), 조각뼈단위개수(Pf), 단위뼈단위밀도(OPD), 평균뼈단위면적(OA), 상대적겉질비율(RCA), 겉질길이(CW)를 측정하고 통계분석하였다. 정강뼈와 종아리뼈의 모든 측정항목 중 7개는 성별에 따라 통계학적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 남자는 정강뼈의 Pi가, 여자는 종아리뼈의 Pf, OPD, RCA가 나이와 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었다. 단순회귀분석결과 여자 종아리뼈의 RCA 항목이 회귀계수(0.62)가 가장 높았으며 표준추정오차는 8년이었다. 다중회귀분석에서 남자의 정강뼈와 종아리뼈를 함께 사용한 방정식은 회귀계수 0.449, 표준추정오차 11년이었으며, 여자의 방정식에서 회귀계수는 0.91, 표준추정오차 6년이었다. 이 연구에서 여자의 결과값은 남자보다, 다른 연구들의 결과값보다 회귀계수가 높았으며 표준추정오차 범위도 작았다. 이 연구는 한국인 정강뼈와 종아리뼈를 이용한 사망 당시 나이추정의 첫 시도이며 정강뼈와 종아리뼈를 이용한 나이추정 가능성을 확인하였다. 이 연구의 결과로 정확한 나이를 추정하기 위해서는 성별과 인구집단에 맞는 방정식이 필요하다는 것을 알 수 있었으며 한국인 백골화시신에서 정강뼈와 종아리뼈를 이용하면 정확도가 높은 사망 당시 나이를 추정할 수 있을 것이다.

**찾아보기 낱말** : 나이추정, 신원확인, 조직형태학, 정강뼈, 종아리뼈