

Marin Vodanović<sup>1</sup>, Jelena Dumančić<sup>1</sup>, Željko Demo<sup>2</sup>, Damir Mihelić<sup>3</sup>

# Određivanje spola na temelju diskriminantne analize mandibula iz dva hrvatska arheološka nalazišta

## *Determination of Sex by Discriminant Function Analysis of Mandibles From two Croatian Archaeological Sites*

<sup>1</sup> Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za dentalnu antropologiju Zagreb, Hrvatska  
*University of Zagreb, School of Dental Medicine, Department of Dental Anthropology, Zagreb, Croatia*

<sup>2</sup> Arheološki muzej, Zagreb, Hrvatska  
*Museum of Archaeology, Zagreb, Croatia*

<sup>3</sup> Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za anatomiju, histologiju i embriologiju, Zagreb, Hrvatska  
*University of Zagreb, Veterinary Faculty, Department of Anatomy, Histology and Embryology, Zagreb, Croatia*

### Sažetak

Kako bi se odredio spol, rabe se mnoge morfološke karakteristike i mjerne metode. Ako se određuje samo na temelju lubanja ili fragmentiranih dijelova čeljusti, tada se koriste razlike u obliku i stupnju izraženosti pojedinih lubanjskih morfoloških obilježja. Ovim su se istraživanjem željeli uspostaviti standardi za određivanje spola na temelju fragmentiranih i cjelovitih mandibula iz dvaju hrvatskih arheoloških nalazišta. Na svakoj mandibuli izmjereno je 19 parametara. Prikupljeni podaci deskriptivno su i multifaktorijalno statistički analizirani te je formirano sedam diskriminantnih funkcija. Diskriminantna funkcija koja je uključivala devet varijabli izmjerenih na mandibulama, omogućila je određivanje spola s pouzdanošću od 92,06%. Utvrđeno je da su dužina korpusa mandibule (muškarci  $88,34 \pm 4,67$  mm; žene  $81,41 \pm 3,04$  mm), mandibularni kut (muškarci  $118,47 \pm 6,16^\circ$ ; žene  $125,63 \pm 5,37^\circ$ ) i minimalna širina ramusa (muškarci  $31,26 \pm 2,94$  mm; žene  $28,36 \pm 2,15$  mm) varijable koje omogućuju najbolje spolno razlikovanje. Rezultati istraživanja pokazali su da se mandibula može koristiti za određivanje spola, kao što je to već zaključeno u drugim sličnim istraživanjima.

Zaprimljen: 10. srpnja 2006.

Prihvaćen: 3. kolovoza 2006.

### Adresa za dopisivanje

Marin Vodanović  
Sveučilište u Zagrebu  
Stomatološki fakultet  
Zavod za dentalnu antropologiju  
Gundulićeva 5  
HR-10000 Zagreb, Hrvatska  
vodanovic@sfzg.hr

### Ključne riječi

određivanje spola; mandibula;  
diskriminantna analiza; arheologija;  
Hrvatska

### Uvod

Određivanje spola ljudskih ostataka iznimno je važno u sudskoj medicini i antropologiji, posebice u kriminalističkim istragama, identifikaciji nestalih osoba (1) te u pokušajima rekonstrukcije života drevnih populacija (2).

Razlike među spolovima koje se očituju na ljudskom kosturu vrlo su dobro proučene u mnogim populacijama (3). Za određivanje spola na temelju

### Introduction

The identification of sex from human remains is of fundamental importance in forensic medicine and anthropology, especially in criminal investigations as well as in the identification of missing persons (1) and in attempts at reconstructing the lives of ancient populations (2).

The sexual difference in the human skeleton has been well studied in many populations (3). The skel-

skeleta najčešće se koriste kosti zdjelice (3) i lubanje (4). Identifikacija ljudi na temelju jedinstvenih obilježja zuba i čeljusti rabi se još iz doba Rimljana, jer se kod ljudi može ustanoviti spolni dimorfizam u dimenzijama i morfologiji čeljusti i zuba - kako kod odraslih, tako i kod djece. Određivanje spola na temelju fragmentiranih ostataka čeljusti i zubala vrlo je važan postupak u forenzici (5). Ponekad utvrđivanje spola može biti iznimno složeno, a osobito ako su dostupne samo oštećene kosti. Ako se spol mora odrediti samo na temelju proučavanja lubanja ili fragmentiranih čeljusti, forenzičari se koriste metodama baziranim na mjerenju različitih koštanih parametara i analizi kranijalnih koštanih obilježja, poput oblika glabele, veličine mastoidnog nastavka, oblika orbita, frontalnog profila, oblika okcipitalnog izbočenja i veličine foramena magnuma (6). Spol se određuje na temelju razlika u obliku i veličini tih morfoloških obilježja (7). Određivanje spola pomoću morfoloških značajki može biti dosta subjektivno i ovisi o iskustvu osobe koja obavlja procjenu spola. Zato se vizualne metode smatraju dosta nepouzdanima, ako ih primjenjuje neiskusna osoba (6). Tijekom procjene spola na temelju obilježja lubanje često je prvi pogled na lubanju jako važan, jer velika i robusna lubanja najčešće pripada osobi muškog spola, a mala i gracilna osobi ženskog spola (3), no tako utemeljena procjena ponekad može biti i pogrešna. Morfometrijski postupci temeljeni na mjerenjima precizni su i mogu se koristiti za određivanje spola. Diskriminantna analiza skeletalnih mjerenja pouzdan je postupak, jer prevladava probleme karakteristične za metode na temelju subjektivne procjene. Takav način analize vrijednosti dobivenih mjerenjima na kostima skeleta, sve je češći izbor u postupku utvrđivanja spola.

Analiza diskriminantnih funkcija jako je pogodna za tu namjenu, jer se primarno koristi za raspoređivanje pojedinaca u dvije (muškarci i žene) ili više jedinstveno definiranih populacija. Da bi se stvorilo neko diskriminantno pravilo za smještanje pojedinaca u jednu od nekoliko mogućih kategorija, istraživač mora imati nasumce odabran uzorak koji će sadržavati pojedince iz svih mogućih klasifikacijskih skupina. Diskriminantna analiza omogućit će stručnjaku da odredi pravila koja se zatim mogu koristiti za klasifikaciju ostalih eksperimentalnih jedinica, to jest pojedinaca u neku od klasifikacijskih skupina.

U mnogobrojnim je istraživanjima utvrđeno da se skeletalna obilježja razlikuju među različitim populacijama te da postoji potreba za utvrđivanjem populacijsko specifičnih standarda koji bi se mogli

etal components most often investigated for gender determination are the pelvis (3) and the skull (4). Identification of humans using the unique features of teeth and jaws has been used since Roman times, because humans show dimorphism in jaw and teeth dimensions and morphology of both adults and children. One of the important aspects of forensics is to determine sex from fragmented jaws and dentition (5). Sometimes the diagnostic procedure may be extremely complicated when fragmented bones are handled. When only skulls or fragmented jaws are available for sex determination, forensic experts may use methods that are based on the measurement of various bone parameters and analysis of cranial osteological traits like shape of the glabella, size of the mastoid process, orbital form, frontal profile, shape of the occipital protuberance or size of the foramen magnum (6). Identification of sex is made on differences in shape and size of the morphological marks (7). The morphological marks are more subjective and sex determination depends on experience of the investigator, so visual methods of sexing skull are likely to be inaccurate when performed by an inexperienced worker (6). In sexing a skull the initial impression is often the deciding factor; a large and robust skull is generally male, a small and gracile skull is female (3). This subjective approach of sexing skull may sometimes produce misleading results. Methods based on measurements and morphometry are accurate and can be used in determination of sex from the skull. Discriminant function analysis of skeletal measurements is a reliable method that overcomes some of the problems inherent in subjective methods of sexing skulls. It is increasingly utilized for sex diagnosis from skeletal measurements.

Discriminant function analysis is suitable for this purpose because it is primarily used to classify individuals into two (males and females) or more uniquely defined populations. To develop a discriminant rule for classifying individuals into one of several possible categories, the researcher must have a random sample of individuals from each possible classification group. Discriminant analysis provides methods that will allow researchers to build rules that can be used to classify other experimental units into one of the classification groups.

Numerous studies have clearly demonstrated that skeletal characteristics vary by population and that there is a need for population specific standards for sex determination (8). The present study is an attempt to derive a discriminant function to determine

koristiti za određivanje spola (8). Ovim istraživanjem želio se odrediti spol skeletalnih ostataka iz dvaju hrvatskih arheoloških nalazišta i to na temelju analize diskriminantnih funkcija koje su uključivale mjerenja 18 parametara na mandibuli.

### Materijali i metode

Skeletalni ostaci korišteni u ovom istraživanju potječu iz dvaju arheoloških nalazišta u istočnom dijelu kontinentalne Hrvatske. Prvi uzorak je ekshumiran početkom 20. stoljeća na nalazištu Bijelo Brdo – srednjovjekovnom groblju u blizini Osijeka i pripada razdoblju između 10. i 11. stoljeća (9), a drugi je ekshumiran tijekom godine 2004. iz kriptte katedrale Svete Terezije u Požegi. Taj je uzorak iz razdoblja između 18. i 19. stoljeća.

Broj i spol osoba u analiziranom uzorku prikazan je na Tablici 1. Za potrebe istraživanja koštani su ostaci bili pohranjeni u Arheološkom muzeju u Zagrebu i u Zavodu za dentalnu antropologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Korišteni materijal sastojao se od lubanja različitog stupnja očuvanosti. Mnoge su bile oštećene ili nepotpune, bez pripadajućih mandibula. Istraživanje je obavljeno samo na dobro očuvanim lubanjama odraslih osoba s mandibulama. Taj je uvjet smanjio ukupan broj uzoraka na samo 85 (59 muškaraca i 26 žena). Spol lubanja prije toga su odredili iskusni forenzični stomatolog i antropolog na temelju njihovih morfoloških obilježja.

Kako bi se ocijenila vrijednost mandibularnih mjerenja u svrhu određivanja spola, na donjim čeljustima izmjereno je 18 parametara (Slika 1.):

- 1) mandibularni kut (Man-A): kut koji tvore donji rub korpusa i stražnji rub ramusa mandibule;
- 2) udaljenost između foramena mentale i donjeg ruba mandibule (MF-BaB);
- 3) udaljenost između foramena mentale i alveolnog ruba mandibule (MF-AIB);
- 4) širina foramena mentale (MF-Br): udaljenost između mezijalnog i distalnog ruba foramena mentale;

sex of skeletal remains from two Croatian archeological sites using 18 mandible measurements.

### Materials and Methods

The skeletal remains used in this investigation originate from two archeological sites in eastern part of continental Croatia. The first sample was exhumed at the beginning of the 20<sup>th</sup> century from Bijelo Brdo – a medieval cemetery near Osijek, whose use is dated to the 10<sup>th</sup> – 11<sup>th</sup> century (9), and the second sample was exhumed in 2004 from the crypt of St. Theresa cathedral in Požega. The second sample is dated to the 18<sup>th</sup> – 19<sup>th</sup> century.

The number of individuals and gender distribution of the analyzed sample is shown in Table 1. For the purpose of this investigation, skeletal remains were stored in the Archaeological Museum in Zagreb and on the Department of Dental Anthropology, School of Dental Medicine, University of Zagreb.

The material used in this investigation consisted of skulls in different states of preservation. Many of the skulls were damaged or incomplete, with unmatched mandibles. Only preserved adult skulls with matching mandibles were investigated. This condition decreased the size of the sample to only 85 skulls (59 males and 26 females). The sex of the skulls was previously established on the basis of cranial morphology by an experienced forensic odontologist and anthropologist.

In order to evaluate mandible measurements for sex determination, the following 18 measurements were taken on the lower jaw (Figure 1):

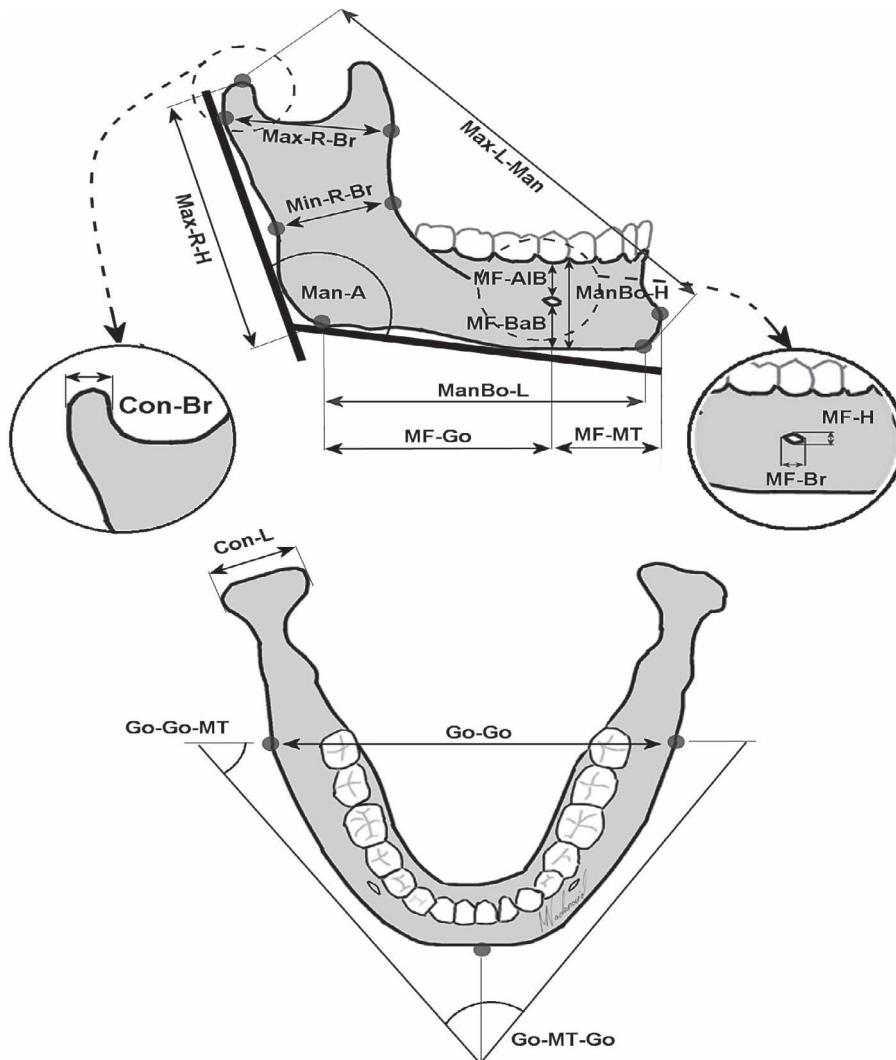
- 1) mandibular angle (Man-A): angle formed by the inferior border of the corpus and the posterior border of the ramus
- 2) distance between mental foramen and basal border of the mandible (MF-BaB)
- 3) distance between mental foramen and alveolar border of the mandible (MF-AIB)
- 4) mental foramen breadth (MF-Br): distance between mesial and distal border of the mental foramen

Tablica 1. Broj pojedinaca i distribucija prema spolu analiziranog uzorka

Table 1 Number of individuals and gender distribution of the analyzed sample

	Nalazište • Site		Ukupno • Total
	Bijelo Brdo	Požega	
Djeca • Subadults	11	15	26
Odrasli / muškarci • Adults / Male	39	88	127
Odrasli / žene • Adults / Female	38	72	110
Ukupno • Total	88	175	263
Broj ispitanih mandibula • Number of examined mandibles	35	55	90

- 5) visina foramena mentale (MF-H): udaljenost između alveolnog i bazalnog ruba foramena mentale;
- 6) dužina korpusa mandibule (ManBo-L): udaljenost između točke gnationa (najniža točka simfize) i točke goniona (točka u kojoj se gonionalna kružnica križa sa simetralom kuta koji tvore tangente povučene sa stražnjeg ruba ramusa i donjeg ruba mandibule);
- 5) mental foramen height (MF-H): distance between the alveolar and basal border of the mental foramen
- 6) length of the mandibular body (ManBo-L): distance between gnation (the most basal point of the symphysis) and gonion (point on the gonional perimetry which crosses the bisectrix of the angle defined by the tangents to the posterior margin of the ramus and the basal border)



Man-A – mandibularni kut • mandibular angle; MF-BaB – udaljenost: foramena mentale – donji rub mandibule • distance: mental foramen – basal border of the mandible; MF-AIB – udaljenost: foramena mentale – alveolni rub mandibule • distance: mental foramen – alveolar border of the mandible; MF-Br – širina foramena mentale • mental foramen breadth; MF-H – visina foramena mentale • mental foramen height; ManBo-L – dužina korpusa mandibule • length of the mandibular body; Max-L-Man – maksimalna dužina mandibule • maximum length of the mandible; ManBo-H – visina korpusa mandibule • height of the mandibular body; Max-R-Br – maksimalna širina ramusa • maximum ramus breadth; Min-R-Br – minimalna širina ramusa • minimum ramus breadth; Max-R-H – maksimalna visina ramusa • maximum ramus height; Go-MT-Go – kut: tuberculum mentale – desni gonion – lijevi gonion • angle: mental tubercle – right gonion – left gonion; Con-L – dužina kondila • length of the condyle; Con-Br – širina kondila • breadth of the condyle; MF-MT – udaljenost: središte foramena mentale – tuberculum mentale • distance: centre of mental foramen – mental tubercle; MF-Go – udaljenost: središte foramena mentale – gonion • distance: centre of foramen mentale – gonion; Go-Go-MT – kut: desni gonion – tuberculum mentale – lijevi gonion • angle: right gonion – mental tubercle – left gonion; Go-Go – bigonialna širina • bigonial width

**Slika 1.** Parametri mjereni na mandibulama  
**Figure 1** Parameters measured on the mandibles

- 7) maksimalna dužina mandibule (Max-L-Man): udaljenost između točke gnationa i točke kondila (središnja točka na kondilarnom nastavku smještena na mjestu kontakta zglobove površine i vrata kondila sa stražnje strane);
- 8) visina korpusa mandibule (ManBo-H): dužina okomice koja spaja alveolni nastavak s donjim rubom mandibule u području foramena mentale;
- 9) maksimalna širina ramusa (Max-R-Br): udaljenost između najistaknutije točke s prednje strane ramusa i linije koja spaja najistaknutiju točku kondila s kutom donje čeljusti;
- 10) minimalna širina ramusa (Min-R-Br): najmanja širina ramusa mandibule mjerena okomito na visinu ramusa;
- 11) maksimalna visina ramusa (Max-R-H): udaljenost od najviše točke na mandibularnom kondilu do goniona;
- 12) kut između linija koje spajaju tuberculum mentale s lijevom odnosno desnim gonionom (Go-MT-Go);
- 13) dužina kondila (Con-L): udaljenost između najlateralnije i najmedijalnije točke mandibularnog kondila;
- 14) širina kondila (Con-Br): udaljenost između najanteriornije i najposteriornije točke mandibularnog kondila;
- 15) udaljenost između središta foramena mentale i tuberculum mentale (MF-MT);
- 16) udaljenost između središta foramena mentale i goniona (MF-Go);
- 17) kut između linije koje spaja gonion s tuberculum mentale i linije koja spaja gonion jedne strane s gonionom suprotne strane mandibule (Go-Go-MT);
- 18) bigonialna širina (Go-Go): udaljenost između desnog i lijevog goniona.

Mjerenja su obavljena pomičnom mjerkom i kuto-mjerom, a sve su vrijednosti očitane na dvije decimale. Sve varijable izmjerene su na obje strane mandibule, ali s obzirom na to da nije ustanovljena statistički znatna razlika između vrijednosti dobivenih na lijevoj i onih na desnoj strani, u daljnju analizu uključene su samo vrijednosti izmjerene na desnoj strani mandibule.

Spolni dimorfizam je razlika u obliku koji postoji između pojedinaca različitog spola unutar iste vrste. U ovom istraživanju spolni dimorfizam između varijabli analiziran je pomoću indeksa spolnog dimorfizma: (srednja vrijednost varijable za muškarce/srednja vrijednost varijable za žene)  $\times$  100. Na primjer, srednja vrijednost varijable maksimalna širina ramusa (Max-R-Br) kod muškaraca je iznosila 44,20 mm, a kod žena 41,23 mm.

- 7) maximum length of the mandible (Max-L-Man): distance between gnation and condyle (medial point of the condyloid process taken at the point of contact of the articular surface with the neck condyle at its posterior side)
- 8) height of the mandibular body (ManBo-H): direct distance from the alveolar process to the inferior border of the mandible perpendicular to the base at the level of the mental foramen
- 9) maximum ramus breadth (Max-R-Br): distance between the most anterior point on the mandibular ramus and a line connecting the most posterior point on the condyle and the angle of the jaw
- 10) minimum ramus breadth (Min-R-Br): the smallest breadth of the mandibular ramus measured perpendicularly to the height of the ramus
- 11) maximum ramus height (Max-R-H): direct distance from the highest point on the mandibular condyle to gonion
- 12) angle between lines connecting mental tubercle with right and left gonion (Go-MT-Go)
- 13) length of the condyle (Con-L): distance between the most lateral and the most medial point of the mandibular condyle
- 14) breadth of the condyle (Con-Br): distance between the most anterior and most posterior point of the mandibular condyle
- 15) distance between the centre of mental foramen and mental tubercle (MF-MT)
- 16) distance between the centre of foramen mentale and gonion (MF-Go)
- 17) angle between lines connecting gonion with mental tubercle and gonion with gonion on the opposite side of the mandible (Go-Go-MT)
- 18) bigonial width (Go-Go): distance between right and left gonion

Measurements were done with a sliding caliper and protractor. Values were read out to two decimal places. All variables were measured on both sides of the mandible, but because there was no statistically significant difference between left and right side, only measurements obtained on the right side of the mandible were used in the further analysis.

Sexual dimorphism is the systematic difference in form between individuals of different sex in the same species. In this study, the sexual dimorphism between variables was analyzed using the index of sexual dimorphism: (male mean/female mean)  $\times$  100. For instance, the average value of the variable maximum ramus breadth (Max-R-Br) for males is 44.20 mm and for females 41.23 mm.

---


$$\begin{aligned} \text{Indeks spolnog dimorfizma} = \\ = (44,20 \text{ mm}/41,23 \text{ mm}) \times 100 = 107,20 \end{aligned}$$


---

Indeks upozorava na stupanj izraženost razlike koja postoji među spolovima: vrijednosti oko 100 upozoravaju na slabu spolnu razliku, a s druge strane stupanj razlike među spolovima raste s porastom udaljenosti od vrijednosti 100.

Multifaktorijska statistička analiza obavljena je računanim statističkim programom SPSS 14,0. U sklopu diskriminantne analize za sve je varijable izračunata korelacijska matrica unutar grupe, eigen-vrijednost, kanonička korelacija, Wilks' lambda, Hi-kvadrat i razina znatnosti za izvedenu diskriminantnu funkciju, zatim vrijednosti standardiziranih i nestandardiziranih koeficijenata, strukturna matrica te preciznost dobivenih funkcija. Eigen-vrijednosti pokazuju omjer važnosti parametara koji se koriste za klasifikaciju slučajeva prema zavisnoj varijabli. One određuju relativnu važnost, jer predstavljaju postotak varijance objašnjen zavisnom varijablom, kumulativno, do ukupno 100% za sve funkcije. Kanonička korelacija je mjera povezanosti između grupa nastalih na temelju zavisne varijable i zadane diskriminantne funkcije. Ako je vrijednost kanoničke korelacije nula, tada ne postoji povezanost između grupa i funkcije. Ako je vrijednost kanoničke korelacije velika, tada postoji velika korelacija između diskriminantne funkcije i grupa. Wilks' lambda testira znatnost diskriminantne funkcije, a posebice znatnost eigen-vrijednosti zadane funkcije. Test Hi-kvadrat koristi se za ispitivanje statističke znatnosti sveukupne diskriminantne funkcije. Standardizirani diskriminantni koeficijenti, poznati i kao standardizirani kanonički diskriminantni funkcijski koeficijenti, koriste se za usporedbu relativne važnosti nezavisnih varijabli. Nestandardizirani diskriminantni koeficijenti upotrebljavaju se u diskriminantnoj formuli tijekom klasifikacije novih slučajeva. Strukturna matrica je tablica strukturnih koeficijenata svake varijable za svaku funkciju. Strukturni koeficijenti predstavljaju korelaciju između zadanih nezavisnih varijabli i diskriminantnih bodova vezanih za zadanu diskriminantnu funkciju. Daju informaciju o tome koliko je pojedina varijabla vezana za pojedinu funkciju u diskriminantnoj analizi. Preciznost izvedenih diskriminantnih funkcija vrjednovana je na izvornom i unakrsno ispitanom uzorku. Tijekom unakrsnog ispitivanja, svaki se slučaj klasificira na temelju funkcija izvedenih iz svih ostalih slučajeva, osim onoga koji je predmet klasifikacije. Za taj se postupak smatra da daje bolje procjene nego što bi one doista bile u samoj populaciji.

Granica statističke znatnosti postavljena je na  $p < 0,01$ .

---


$$\begin{aligned} \text{Index of sexual dimorphism} = \\ = (44,20 \text{ mm}/41,23 \text{ mm}) \times 100 = 107,20 \end{aligned}$$


---

This index indicates the level of difference between sexes: values close to 100 indicate low level of sexual difference and on the other side the level of sexual difference increases with the increase of the distance from 100.

The multifactorial statistics were performed using the discriminant procedure of the statistical package SPSS 14.0. The procedure calculates the within-group correlation matrix for the analyzed variables, eigenvalue, canonical correlation, Wilks' lambda, chi-square and significance level for the derived discriminant function, values of the standardized and unstandardized coefficients, structure matrix, as well as the accuracy of the functions. The eigenvalues reflect the ratio of importance of the dimensions which classify cases of the dependent variable. The eigenvalues assess relative importance because they reflect the percents of variance explained in the dependent variable, cumulating to 100% for all functions. The canonical correlation is a measure of the association between the groups formed by the dependent and the given discriminant function. When the canonical correlation is zero, there is no relation between the groups and the function. When the canonical correlation is large, there is a high correlation between the discriminant functions and the groups. Wilks' lambda tests the significance of discriminant function, specifically the significance of the eigenvalue for a given function. The chi-square test is used to test the significance of the discriminant function as a whole. Standardized discriminant coefficients, also termed the standardized canonical discriminant function coefficients, are used to compare the relative importance of the independent variables. Unstandardized discriminant coefficients are used in the discriminant formula for making the classifications of new cases. Structure matrix is a table of structure coefficients of each variable with each discriminant function. Structure coefficients are the correlations between a given independent variable and the discriminant scores associated with a given discriminant function. They are used to tell how closely a variable is related to each function in discriminant analysis. Accuracy of the derived discriminant functions was validated on the original and cross-validated samples. In cross-validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case. This is thought to give a better estimate of what classification results would be in the population.

The level of statistical significance was set at  $p < 0.01$ .

## Rezultati

U Tablici 2. prikazani su rezultati deskriptivne statističke analize za oba spola. Indeks dimorfizma u većini slučajeva ima vrijednosti veće od 100, što upozorava na to da muškarci, u skladu s očekivanjima, imaju veće dimenzije mandibule (osim u slučaju mandibularnog kuta te širine i visine foramena mentale). Varijable koje su u Tablici 2. označene zvjezdicom pokazuju statistički znatan spolni dimorfizam i mogu poslužiti za vrjednovanje morfoloških razlika između spolova. Udaljenost između foramena mentale i alveolnog ruba mandibule je varijabla koja ima najveću vrijednost indeksa (11,55%), a mandibularni kut je varijabla s najmanjom vrijednošću indeksa

## Results

Table 2 shows the descriptive statistics for both sexes. The index of dimorphism is in the most cases greater than 100 indicating that males, as expected, have greater mandibular dimensions (except in the case of mandibular angle, mental foramen breadth and height). The variables marked with asterisks, in Table 2 exhibit statistically significant sexual dimorphism and they are useful in evaluating morphological differences between sexes. The distance between the mental foramen and the alveolar border of the mandible is a variable with the highest value of the index (11.55%), and the mandibular angle is the variable with the lowest value (5.70%). The

**Tablica 2.** Spolni dimorfizam i deskriptivna statistička analiza mandibula iz analiziranog uzorka  
**Table 2** Sexual dimorphism and descriptive statistics of the mandible in the analyzed sample

Varijabla • Variable	Muškarci • Male		Žene • Female		Spolni dimorfizam • Sexual dimorphism		
	N	Mean ± SD	N	Mean ± SD	Indeks • Index	F	Sig.
Man-A	47	118,47 ± 6,16	16	125,63 ± 5,37	94,30	17,11	0,00*
MF-BaB	47	13,85 ± 1,73	16	13,19 ± 1,68	104,96	1,74	0,19
MF-AIB	47	15,21 ± 2,10	16	13,63 ± 1,14	111,55	8,09	0,01*
MF-Br	47	3,74 ± 0,92	16	3,93 ± 0,84	95,36	0,46	0,49
MF-H	47	2,57 ± 0,55	16	2,59 ± 0,67	99,06	0,020	0,89
ManBo-L	47	88,34 ± 4,66	16	81,41 ± 3,04	108,51	30,68	0,00*
Max-L-Man	47	121,66 ± 6,07	16	115,09 ± 4,18	105,71	16,10	0,00*
ManBo-H	47	31,68 ± 2,60	16	29,96 ± 1,21	105,70	6,38	0,01*
Max-R-Br	47	44,20 ± 3,89	16	41,23 ± 3,76	107,21	7,08	0,01*
Min-R-Br	47	31,26 ± 2,94	16	28,36 ± 2,15	110,26	13,21	0,00*
Max-R-H	47	67,42 ± 4,31	16	61,46 ± 3,63	109,71	24,66	0,00*
Go-MT-Go	47	66,28 ± 3,48	16	66,25 ± 4,09	100,04	0,01	0,98
Con-L	47	7,83 ± 1,71	16	7,33 ± 1,04	106,89	1,23	0,27
Con-Br	47	20,11 ± 2,20	16	19,11 ± 1,98	105,23	2,60	0,11
MF-MT	47	28,48 ± 5,08	16	25,45 ± 1,54	111,91	5,48	0,02
MF-Go	47	59,80 ± 6,26	16	56,42 ± 3,12	105,99	4,26	0,04
Go-Go-MT	47	57,30 ± 1,76	16	57,00 ± 2,34	100,52	0,29	0,59
Go-Go	47	97,17 ± 6,10	16	89,56 ± 6,15	108,50	18,51	0,00*

Man-A – mandibularni kut • mandibular angle; MF-BaB – udaljenost: foramen mentale – donji rub mandibule • distance: mental foramen – basal border of the mandible; MF-AIB – udaljenost: foramena mentale – alveolni rub mandibule • distance: mental foramen – alveolar border of the mandible; MF-Br – širina foramena mentale • mental foramen breadth; MF-H – visina foramena mentale • mental foramen height; ManBo-L – dužina korpusa mandibule • length of the mandibular body; Max-L-Man – maksimalna dužina mandibule • maximum length of the mandible; ManBo-H – visina korpusa mandibule • height of the mandibular body; Max-R-Br – maksimalna širina ramusa • maximum ramus breadth; Min-R-Br – minimalna širina ramusa • minimum ramus breadth; Max-R-H – maksimalna visina ramusa • maximum ramus height; Go-MT-Go – kut: tuberculum mentale – desni gonion – lijevi gonion • angle: mental tubercle – right gonion – left gonion; Con-L – dužina kondila • length of the condyle; Con-Br – širina kondila • breadth of the condyle; MF-MT – udaljenost: središte foramena mentale – tuberculum mentale • distance: centre of mental foramen – mental tubercle; MF-Go – udaljenost: središte foramena mentale – gonion • distance: centre of foramen mentale – gonion; Go-Go-MT – kut: desni gonion – tuberculum mentale – lijevi gonion • angle: right gonion – mental tubercle – left gonion; Go-Go – bigonialna širina • bigonial width

\* – Statistički znatno,  $p < 0,01$  • Statistically significant at  $p < 0.01$

N – Broj pojedinaca • Number of individuals

SD – Standardna devijacija • Standard deviation

Indeksa = (srednja vrijednost muškarci/srednja vrijednost žene) × 100 • Index = male mean/female mean × 100

F – Vrijednost F-testa • Value of F-test

Sig. – Statistička znatnost • Statistical significance

(5,70%). Standardne devijacije varijabli sa znatnom razlikom među spolovima upućuju na zaključak da muškarci pokazuju veću varijabilnost nego žene. Varijable kod kojih nije utvrđen statistički znatan spolni dimorfizam isključene su iz daljnjih analiza.

Za varijable s utvrđenim statistički znatnim spolnim dimorfizmom izračunata je korelacijska matrica (Tablica 3.). Izrazita, pozitivna korelacija ustanovljena je između maksimalne dužine mandibule i dužine korpusa mandibule (0,75) te između maksimalne i minimalne širine ramusa (0,64).

Nakon što je potvrđen izraziti spolni dimorfizam, formirano je sedam diskriminantnih funkcija. Prva je uključivala svih devet varijabli kod kojih je ustanovljen statistički znatan spolni dimorfizam. Tablica 4. pokazuje eigen-vrijednosti, kanoničku korelaciju, Wilks' lambda, Hi-kvadrat i razinu znatnosti za dobitu diskriminantnu funkciju. S obzirom na to da su koštani ostaci iz masovnih grobnica i arheoloških nalazišta vrlo često postmortalno oštećeni, formirano je još šest dodatnih diskriminantnih funkcija kako bi se spol mogao odrediti i u slučajevima ako se raspolaze samo s oštećenim mandibulama. Jedna od funkcija uključivala je tri varijable, dvije su uključivale dvije, a tri funkcije uključivale su po jednu varijablu.

Točka razdvajanja, standardizirani i nestandardizirani koeficijenti te strukturalna matrica za svih sedam diskriminantnih funkcija prikazani su u Tablici 5. Standardizirani koeficijenti diskriminantne funkcije upozoravaju na relativnu važnost svake varijable u postupku utvrđivanja spola. U prvoj funkciji najveći doprinos ima dužina korpusa mandibule, a najmanji visina korpusa mandibule. Nestandardizirani koeficijenti diskriminantne funkcije koriste se

standard deviations of the variables with significant gender differences suggest that males exhibit more variation than females. Variables where no statistically significant sexual dimorphism was found were excluded from further analysis.

For variables exhibiting statistically significant sexual dimorphism, the within-group correlation matrix was calculated (Table 3). Strong, positive correlations are present between the maximum length of the mandible and length of the mandibular body (0.75) and between maximum and minimum ramus breadth (0.64).

After the existence of a strong sexual dimorphism was confirmed, seven discriminant functions were generated. The first function employed all nine variables exhibiting statistically significant sexual dimorphism. Table 4 presents the eigenvalue, canonical correlation, Wilks' lambda, Chi-square and significance level for the derived discriminant function. Because skeletal remains recovered from mass graves and archaeological sites often exhibit post-mortem damage, six additional discriminant functions were generated to determine sex from fragmentary mandibles. One of them employed three variables, two employed two variables and three used a single variable.

Sectioning points, standardized and unstandardized coefficients and structure matrix for all seven discriminant functions are presented in Table 5. Standardized discriminant function coefficients indicate the relative importance of each variable in predicting gender. In the first function, length of the mandibular body makes the greatest contribution and height of the mandibular corpus contrib-

Tablica 3. Unutar-grupna korelacijska matrica za analizirane varijable  
Table 3 The within-group correlation matrix for the analyzed variables

Varijabla • Variable	Man-A	MF-AIB	ManBo-L	Max-L-Man	ManBo-H	Max-R-Br	Min-R-Br	Max-R-H	Go-Go
Man-A	1,00	0,12	0,19	0,43	0,21	0,13	-0,31	-0,17	0,04
MF-AIB	0,12	1,00	0,26	0,32	0,61*	0,08	-0,01	0,18	0,23
ManBo-L	0,19	0,26	1,00	0,75*	0,33	0,59*	0,58*	0,24	0,58*
Max-L-Man	0,43	0,32	0,75*	1,00	0,42	0,59*	0,30	0,52*	0,51*
ManBo-H	0,21	0,61*	0,33	0,42	1,00	0,08	0,05	0,25	0,18
Max-R-Br	0,13	0,08	0,59*	0,59*	0,08	1,00	0,64*	0,31	0,47
Min-R-Br	-0,31	-0,01	0,58*	0,30	0,05	0,64*	1,00	0,24	0,29
Max-R-H	-0,17	0,18	0,24	0,52*	0,25	0,31	0,24	1,00	0,33
Go-Go	0,04	0,23	0,58*	0,51*	0,18	0,49	0,29	0,33	1,00

Man-A – mandibularni kut • mandibular angle; MF-AIB – udaljenost: foramena mentale – alveolni rub mandibule • distance: mental foramen – alveolar border of the mandible; ManBo-L – dužina korpusa mandibule • length of the mandibular body; Max-L-Man – maksimalna dužina mandibule • maximum length of the mandible; ManBo-H – visina korpusa mandibule • height of the mandibular body; Max-R-Br – maksimalna širina ramusa • maximum ramus breadth; Min-R-Br – minimalna širina ramusa • minimum ramus breadth; Max-R-H – maksimalna visina ramusa • maximum ramus height; Go-Go – bigonialna širina • bigonial width

\* – Statistički znatno,  $p < 0,01$  • Statistically significant at  $p < 0,01$



**Tablica 4.** Eigen-vrijednosti, kanonička korelacija, Wilks' Lambda, Hi-kvadrat i razina znatnosti za formiranu diskriminantnu funkciju  
**Table 4** Eigenvalue, canonical correlation, Wilks' Lambda, Chi-square and significance level for the derived discriminant function

Diskriminantna funkcija • Discriminant function	Eigen-vrijednost • Eigenvalue	Kanonička korelacija • Canonical Correlation	Wilks' Lambda	Hi-kvadrat • Chi-square	df	Sig.
1	1,22	0,74	0,45	45,03	9	0,00*

df – Stupanj slobode • Degree of freedom

Sig. – Statistička znatnost • Statistical significance

\* – Statistički znatno,  $p < 0,01$  • Statistically significant at  $p < 0.01$

**Tablica 5.** Standardizirani i nestandardizirani koeficijenti diskriminantne funkcije, strukturna matrica i točke razdvajanja  
**Table 5** Standardized and unstandardized discriminant function coefficients, structure matrix and sectioning points

Funkcija • Function	Uključene varijable • Variables included	Standardizirani koeficijent • Standardized coefficient	Strukturna matrica • Structure matrix	Nestandardizirani koeficijent • Unstandardized coefficient
F1	Man-A	-0,82	-0,48	-0,14
	MF-AIB	0,11	0,33	0,06
	ManBo-L	0,88	0,64	0,20
	Max-L-Man	0,11	0,47	0,02
	ManBo-H	0,03	0,29	0,01
	Max-R-Br	0,04	0,31	0,01
	Min-R-Br	-0,45	0,42	-0,16
	Max-R-H	0,25	0,58	0,06
	Go-Go	-0,04	0,50	-0,01
	Konstanta • Constant			-3,63
Točka razdvajanja • Sectioning point			-0,61	
F2	Man-A	-0,72	-0,49	-0,12
	ManBo-L	0,95	0,75	0,21
	Min-R-Br	-0,13	0,55	-0,05
	Konstanta • Constant			-1,93
Točka razdvajanja • Sectioning point			-0,40	
F3	Man-A	-0,67	-0,50	-0,12
	ManBo-L	0,89	0,75	0,20
	Konstanta • Constant			-3,14
Točka razdvajanja • Sectioning point			-0,40	
F4	ManBo-L	0,81	0,96	0,18
	Min-R-Br	0,32	0,70	0,12
	Konstanta • Constant			-19,00
	Točka razdvajanja • Sectioning point			-0,31
F5	ManBo-L			0,22
	Konstanta • Constant			-19,01
	Točka razdvajanja • Sectioning point			-0,30
	Granična vrijednost (mm) • Demarking point (mm)		muškarci • males > 84,88 > žene • females	
F6	Man-A			0,17
	Konstanta • Constant			-20,43
	Točka razdvajanja • Sectioning point			0,20
	Granična vrijednost • Demarking point (mm)		žene • females > 122,05 > muškarci • males	
F7	Min-R-Br			0,37
	Konstanta • Constant			-11,37
	Točka razdvajanja • Sectioning point			-0,22
	Granična vrijednost (mm) • Demarking point (mm)		muškarci • males > 29,81 > žene • females	

Man-A – mandibularni kut • mandibular angle; MF-AIB – udaljenost: foramena mentale – alveolni rub mandibule • distance: mental foramen – alveolar border of the mandible; ManBo-L – dužina korpusa mandibule • length of the mandibular body; Max-L-Man – maksimalna dužina mandibule • maximum length of the mandible; ManBo-H – visina korpusa mandibule • height of the mandibular body; Max-R-Br – maksimalna širina ramusa • maximum ramus breadth; Min-R-Br – minimalna širina ramusa • minimum ramus breadth; Max-R-H – maksimalna visina ramusa • maximum ramus height; Go-Go – bigonialna širina • bigonial width

za sastavljanje jednadžbe kako bi se mogli izračunati diskriminanti bodovi koji se zatim mogu rabiti za klasifikaciju novih slučajeva. Da bi se to izračunalo, prosjek svake varijable najprije se pomnoži sa svojim nestandardiziranim koeficijentom, a rezultat se zatim pribroji konstanti. Dobiveni zbroj na kraju se uspoređuje s točkom razdvajanja, a ona je definirana vrijednošću diskriminantnih bodova koji razdvajaju spolove. Ako je dobiveni zbroj ispod točke razdvajanja, osoba je ženskog spola, a ako je iznad, osoba je muškog spola. Na primjer, vrijednosti unesene u funkciju F3 jesu 118,47 i 88,34. Prema toj funkciji spol možemo odrediti na sljedeći način:

$$\begin{aligned} 118,47 \times (-0,12) [\text{nestandardizirani koeficijent za varijablu Man-A}] &= -14,22 \\ 88,34 \times 0,20 [\text{nestandardizirani koeficijent za varijablu ManBo-L}] &= 17,67 \\ -14,22 + 17,67 &= 3,45 \\ 3,45 + (-3,14) [\text{konstanta}] &= 0,31 \\ 0,31 > (-0,40) [\text{točka razdvajanja}] &= \text{muškarac} \end{aligned}$$

Ako se koristi samo jedna varijabla (funkcije F5 – F7), spol se može odrediti usporedbom specifične vrijednosti izmjerene na mandibuli s graničnom vrijednošću. Granična vrijednost je prosjek srednjih vrijednosti za svaki spol. U funkciji F5 i F7 vrijednost veća od granične upozorava na to da se radi o muškarcu, a vrijednost manja od granične potvrđuje da je riječ o ženi; no, u funkciji F6 vrijednost veća od granične upozorava na to da se radi o ženi, a vrijednost manja od granične o muškarcu (Tablica 5.).

U Tablici 6. prikazana je preciznost u određivanju spola na izvornom i unakrsno ispitanom uzor-

utes the least. Unstandardized discriminant function coefficients are used to construct the actual prediction equation in order to calculate the discriminant scores that can be used to classify new cases from the raw data. To calculate this, the means of each variable are first multiplied with their unstandardized coefficients, and the results are then added together to the constant. The sum is finally compared with the sectioning point which indicates the score of separation. If the result is below the sectioning point, the person is female, and if over the sectioning point, the person is male. For instance, the values entered to the function F3 are 118.47 and 88.34. According to this formula,

$$\begin{aligned} 118,47 \times (-0,12) [\text{unstandardized coefficient for the variable Man-A}] &= -14,22 \\ 88,34 \times 0,20 [\text{unstandardized coefficient for the variable ManBo-L}] &= 17,67 \\ -14,22 + 17,67 &= 3,45 \\ 3,45 + (-3,14) [\text{constant}] &= 0,31 \\ 0,31 > (-0,40) [\text{sectioning point}] &= \text{Male} \end{aligned}$$

If a single variable is used (Functions F5 – F7), sexing of the mandibles can also be done by comparison of the specific dimension of the mandible with the demarking point. The demarking point is the average of the mean values for each sex. A higher value indicates a male and a lower value a female in functions F5 and F7, but in the function F6 higher value indicates a female, and a lower value a male (Table 5).

Table 6 presents the accuracy rates of the original and cross-validated samples. If all nine vari-

**Tablica 6.** Preciznost klasifikacije izvornih i unakrsno ispitanih uzoraka

**Table 6** Classification accuracy of the original and cross-validated samples

Funkcija • Function		Spol • Sex				Ukupno • Total	
		Muškarci • Male		Žene • Female			
		N	%	N	%	N	%
F1	Izvorno • Original	43/47	91,49	15/16	93,75	58/63	92,06
	Unakrsno ispitano • Cross-validated	39/47	82,98	14/16	87,50	53/63	84,13
F2	Izvorno • Original	52/59	88,14	23/26	88,46	75/85	88,24
	Unakrsno ispitano • Cross-validated	51/59	86,44	20/26	76,92	71/85	83,53
F3	Izvorno • Original	51/59	86,44	23/26	88,46	74/85	87,06
	Unakrsno ispitano • Cross-validated	51/59	86,44	23/26	88,46	74/85	87,06
F4	Izvorno • Original	49/59	83,05	21/26	80,77	70/85	82,35
	Unakrsno ispitano • Cross-validated	49/59	83,05	20/26	76,92	69/85	81,18
F5	Izvorno • Original	48/59	81,36	19/26	73,08	67/85	78,82
	Unakrsno ispitano • Cross-validated	48/59	81,36	19/26	73,08	67/85	78,82
F6	Izvorno • Original	43/59	72,88	18/26	69,23	61/85	71,77
	Unakrsno ispitano • Cross-validated	43/59	72,88	18/26	69,23	61/85	71,77
F7	Izvorno • Original	42/59	71,19	21/26	80,77	63/85	74,12
	Unakrsno ispitano • Cross-validated	42/59	71,19	21/26	80,77	63/85	74,12

N – Broj pojedinaca • Number of individuals

ku. Ako se na mandibuli može izmjeriti svih devet varijabli, ukupna preciznost procjene za oba spola bila bi 92,06%. Nešto manja preciznost procjene (88,24%) može se postići kombinacijom triju varijabli: ManBo-L, Man-A i Min-R-Br, a samo neznatno nižu preciznost (87,06%) omogućuje i kombinacija varijabli ManBo-L i Man-A. Ako se radi o oštećenoj mandibuli, uporabom pojedinačnih varijabli još se može postići zadovoljavajuća preciznost u određivanju spola, no varirat će od 71,77 (Man-A) do 78,82% (ManBo-L).

## Rasprava

U istraživanju je ispitano 18 parametara izmjerenih na mandibuli - od toga broja devet je iskorišteno za stvaranje diskriminantnih funkcija. Ti su parametri omogućili vrlo dobro razlikovanje među spolovima na arheološkim uzorcima iz Bijelog Brda i Požege. Najveći stupanj spolnog dimorfizma ustanovljen je kod varijable MF-MT (udaljenost između središta foramena mentale i tuberculuma mentale) - čak 11,91%. Taj je rezultat u skladu s rezultatima Rosasa i suradnika koji su utvrdili da je indeks spolnog dimorfizma mandibularnih i postkranijalnih varijabli kod ljudi rijetko kada veći od 20,00% (10). Od ukupno 18 varijabli, samo kod devet pronađen je statistički znatan spolni dimorfizam. Sedam od tih devet varijabli smješteno je izvan područja foramena mentale. Rosas i suradnici utvrdili su da kod ljudi područje oko foramena mentale ne pokazuje razliku među spolovima, ali zato visok stupanj spolnog dimorfizma pokazuju visina ramusa, gonion i koronoidni nastavak (10), što su potvrdili i rezultati ovog istraživanja.

Sve varijable kod kojih je ustanovljen spolni dimorfizam vezane su za veličinu mandibule, a to je potvrđeno izrazitom, pozitivnom korelacijom koja postoji između varijabli. To se može objasniti genetički determiniranim čimbenicima, kao što su veličina zuba te lokalnim čimbenicima poput mišićnih sila. Naime, tijekom žvakanja žene u prosjeku stvaraju slabije žvačne sile, a posljedica su glatka hvatišta mišića i mandibule manjih dimenzija. Muškarci postižu jače žvačne sile, pa imaju izraženija mišićna hvatišta, posebice u području goniona i koronoidnog nastavka te su im općenito mandibule veće nego kod žena. Osim toga za zube muškaraca ustanovljeno je da su veći nego zubi žena (11). Istraživanje Strouda i suradnika (12) pokazalo je da muškarci imaju veće zube nego žene zbog debljega dentina. Spolni kromosomi izravno utječu na rast i razvoj zuba. Alvesalo i suradnici smatraju da Y-kromosom

ables can be measured on the mandible, the overall accuracy for both sexes is 92.06%. Somewhat lower accuracy (88.24%) is obtained with a combination of three variables: ManBo-L, Man-A and Min-R-Br. A slightly lower accuracy (87.06%) is also provided by combination of ManBo-L and Man-A. In case of a damaged mandible, single variables provide a good level of sex determination accuracy, which varies from 71.77 (Man-A) to 78.82% (ManBo-L).

## Discussion

In the present study 18 mandible measurements were examined and nine of them were used in discriminant function analysis. They provided very good sex discrimination in archeological samples from Bijelo Brdo and Požega. The distance between the center of mental foramen and mental tubercle (variable MF-MT) exhibited the highest level of sexual dimorphism (11.91%). This result is in concordance with Rosas et al. who stated that the indexes of sexual dimorphism in mandibular and postcranial variables of humans are rarely above 20.00% (10). Out of a total of 18 variables, only nine of them showed statistically significant sexual dimorphism. Seven of these nine variables are detected outside the region of the mental foramen. Rosas et al. found that the mental foramen area does not present sexual differences in humans, but ramus height, gonion and coronoid processes present a high degree of sexual dimorphism (10) which is also confirmed by the results of our study.

All the sexual dimorphic variables are influenced by the size of the mandible. This is confirmed by a strong and positive correlation present between variables. This could be explained by genetically determined factors such as size of teeth and by local environmental factors such as muscle forces. During mastication, in average, females produce weaker muscle forces, resulting with smooth muscle attachments and small sized mandibles. Males produce stronger muscle forces, having rough muscle attachments, especially at the gonion and coronoid process, and they have larger mandibles than females. Male teeth have been found to be larger than female teeth (11). The investigation of Stroud et al. (12) showed that males have larger teeth than females due to a greater thickness of dentin. The sex chromosomes are directly linked with dental growth and development. Alvesalo et al. suggest that the Y chromosome increases the mitotic potential of de-

povećava mitotički potencijal kod zubnih zametaka i na taj način potiče razvoj dentina, a s druge strane amelogeneza je potaknuta X- kromosomima (13). Karaman (14) je istraživao iskoristivost dijagonalnih dimenzija zuba za određivanje spola kod Tura-ka. Utvrdio je da se zubi muškaraca i žena razlikuju prema dimenzijama te da su donji zubi dimorfičniji nego gornji. S obzirom na to moglo bi se zaključiti da su mandibule dimorfičnije nego maksile, jer veći zubi zahtijevaju i veće čeljusti, ali tu tvrdnju treba još provjeriti. Smatra se da su dijelovi lubanje pod najvećim genetskim utjecajem upravo oni koji su razvojno vezani za hondrokranijalni i hondrofacijalni skelet (središnja linija baze lubanje i donji rub mandibule). Brkić i suradnici (15) ispitivali su oblik kraniofacijalnog kompleksa kod hrvatskih pacijenata s Klinefelterovim sindromom (47, XXY) i ustanovili da kod pacijenata s dodatnim X-kromosomom postoje kraći mandibularni ramusi, duži korpusi mandibule te veći gonijalni kut. To znači da X-kromosom ima utjecaj na razvoj mandibule te uzrokuje razlike među spolovima.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da mandibule iz dvaju hrvatskih arheoloških nalazišta mogu dobro poslužiti za određivanje spola, s preciznošću klasifikacije od 92,06%. Ta razina preciznosti dosegnuta je primjenom funkcije koja je uključivala svih devet varijabli. Nešto manja preciznost (88,24%) može se postići za tri varijable, a funkcije izvedene na temelju samo jedne varijable omogućuju preciznost određivanja spola između 81,36 i 71,19% kod muškaraca te između 80,77 i 69,23% kod žena. Ti rezultati slični su onima Potsch-Schneidera i suradnika (16). Oni su rabeći 17 parametara uspjeli točno odrediti spol na temelju neoštećenih mandibula kod 82,60% muškaraca i 79,50% žena.

Razina preciznosti tijekom određivanja spola kod muškaraca i žena dosta je slična u svim funkcijama (osim kod funkcija F5 i F7), a preciznost klasifikacije razlikuje se od 0,33 do 3,65%. U funkciji F5 koja se koristi dužinom korpusa mandibule, muškarci pokazuju 8,28% višu preciznost klasifikacije. U funkciji F7 koja se koristi minimalnom širinom ramusa, kod žena je utvrđena 9,58% viša preciznost klasifikacije, nego kod muškaraca. Razlike u preciznosti klasifikacije između spolova mogu uzrokovati mnogobrojni čimbenici, uključujući varijacije u veličini uzorka (59 muškaraca i 26 žena) te varijabilnost unutar skupine pojedinaca istog spola.

U ovom istraživanju ustanovljeno je da dužina korpusa mandibule ima najviši standardizirani koeficijent, a slijede mandibularni kut i minimalna ši-

veloping tooth germs and promotes dentin growth. Amelogenesis, on the other hand, appears to be promoted by the X chromosomes (13). Karaman (14) studied the use of diagonal teeth measurements in predicting gender in the Turkish population. He found differences between males and females in teeth dimensions and concluded that lower teeth are more dimorphic than the upper ones. According to this it could also be concluded that lower jaws are more dimorphic than upper ones, because larger teeth need larger jaws, but this statement must be tested. It is considered that the parts of the skull that show the greatest amount of genetic control are those which are developmentally most closely related to the chondrocranial and chondrofacial skeleton (midline cranial base and the lower border of the mandible). Brkić et al. (15) examined the shape of the craniofacial complex in Croatian patients with Klinefelter syndrome (47, XXY) and found that the patients with an extra X chromosome displayed a shorter mandibular ramus, longer mandibular body and larger gonial angle. This means that the X chromosome has an effect on mandibular growth causing differences between sexes.

The results of this study show that the mandibles from two Croatian archaeological sites are good skeletal components from which sex can be determined, with the classification accuracy reaching 92.06%. This overall accuracy is achieved with a function using nine variables. A slightly lower accuracy (88.24%) is achieved with three variables, while functions using one variable provide accuracies between 81.36 and 71.19% for males and between 80.77 and 69.23% for females. These results are similar to those obtained by Potsch-Schneider et al. (16). They succeeded in determining the sex accurately from an intact lower jawbone in 82.60% (males) and 79.50% (females) of the cases using seventeen measuring parameters.

Male and female accuracies are similar in all functions (except functions F5 and F7) and the classification accuracy differs between 0.33 and 3.65%. In the function F5 that uses the length of the mandibular body males have 8.28% higher classification accuracy. In the function F7 that uses the minimum ramus breadth females exhibit 9.58% higher accuracy than males. Differences in accuracy between the sexes can be caused by a number of factors including variation in sample size (59 males and 26 females) and intrasex variability.

In the present study, length of the mandibular body has the highest standardized coefficient, fol-

rina ramusa. To znači da te tri varijable omogućuju najbolje razlikovanje među spolovima. Rosas smatra da je to povezano s razlikama u muskulo-skeletalnom razvoju, odnosno s razlikama vezanima za smjerove rasta koje postoje između muškaraca i žena (10).

Do sada su se za određivanje spola koristili različiti mandibularni parametri i morfološke značajke (17). Dorion smatra da se, ako postoji cjelovita mandibula, spol može odrediti na temelju mjerenja udaljenosti između vrha koronoidnog nastavka i ispupčenja brade (18). Đurić i suradnici utvrdili su da je od svih kranijalnih parametara robusnost mandibule najprecizniji pojedinačni parametar, s preciznošću u procjeni spola od 70,93% (19). Iako postoje mnoge korisne i pouzdane varijable na mandibuli koje se mogu upotrijebiti za određivanje spola, ima i onih čija je vrijednost upitna, a uporaba nepouzdana. Oettle i suradnici su za određivanje spola napravili geometrijsku, morfometričnu analizu zakrivljenosti ramusa mandibule te zaključili da utvrđena razlika između muškaraca i žena nije pogodna za određivanje spola u pojedinačnim slučajevima (20). Do sličnih rezultata došli su Kemkes-Grottenthaler i suradnici (21), nakon što su ispitivali vrijednost zakrivljenosti ramusa mandibule i lateralne ispupčenosti mandibule u području goniona kao parametara za procjenu spola. Mnogi autori smatraju da se dimorfična obilježja na mandibuli mogu prepoznati prije spolne zrelosti (22), što je vrlo važno za određivanje spola maloljetnika, posebice ako je uzorak loše sačuvan.

Spolne razlike pod kontrolom su nasljednih hormonalnih i endokrinih čimbenika rasta. Tijekom djetinjstva nema mnogih vidljivih spolnih obilježja - ona se zbog endokrine stimulacije potpuno razvijaju u pubertetu (2). Ostale spolne razlike posljedica su habitualne aktivnosti (23). Zato veličina i specifičan reljef mišićnih hvatišta postaju najvažnija obilježja za procjenu spola (10). Kod žena pronalazimo mala i glatka hvatišta mišića, a kod muškaraca su velika i izražena.

Važno je istaknuti da standardi za određivanje spola koji vrijede za jednu populaciju ne moraju biti upotrebljivi i za neku drugu, posebice u prošlosti kada su se zubi i čeljusti puno češće koristili za puko preživljavanje negoli danas. U prošlosti su se zubi i čeljusti vrlo često rabili kao oruđe u svakodnevnom radu. Dobro je poznato da dugotrajna profesionalna uporaba nekog dijela tijela uzrokuje određene promjene na kostima, poput specifične veličine i reljefa mišićnih hvatišta. Različite kulture pokazuju razli-

čice u mandibularnom kutu i minimumu ramusa. Ovo znači da te tri varijable omogućuju najbolje razlikovanje među spolovima. Rosas smatra da je to povezano s razlikama u muskulo-skeletalnom razvoju, odnosno s razlikama vezanima za smjerove rasta koje postoje između muškaraca i žena (10).

Different mandible parameters and morphological features have been used for sex determination (17). Dorion concluded that, if a whole mandible exists, sex determination can be made by measurements of distance between the tip of the coronoid process and the angle of the chin corner (18). Đurić et al. found that the most accurate single indicator of sex among cranial methods was the robustness of the mandible with accuracy of 70.93% (19). Although there are many useful and reliable mandibular features for sex determination, there are also some that are questionable and unreliable. Oettle et al. used geometric morphometric analysis of mandibular ramus flexure for sexing, but they concluded that the differences between the male and the female ramus flexure are not appropriate to predict the sex of a single individual (20). Similar results are obtained by Kemkes-Grottenthaler et al. (21) who examined mandibular ramus flexure and gonial eversion as morphologic indicators of sex. A number of authors have proposed that sexually dimorphic features can be identified in the mandible before reaching sexual maturity (22), which is important for sexing of subadults, especially in cases of bad sample preservation.

Inherited hormonal or endocrine growth regulators control sex differences. Many visible sex traits are absent in infancy and childhood, developing fully in puberty, apparently by endocrine stimulus (2). Other gender differences are clearly the result of habitual activity (23). Size and specific muscular relief emerge as the most diagnostic sex-related characters (10). Distinctive female specimens include small size and smooth muscle attachments, while male specimens are larger, with strong muscle attachments.

It is important to mention that sex differentiation standards which are valid for one population must not be useful for another population, especially in the past times, when teeth and jaws were more often used for basic survival purposes than today. In the past, teeth and jaws were often used like tools in everyday work. It is well known that permanent use of a part of a body for occupational purposes produces some bone changes like the specific size and re-

čite koštane promjene uzrokovane profesijom i to je razlog za uspostavu specifičnih populacijskih standarda za određivanje spola.

Do sada nisu zabilježene diskriminantne funkcije za određivanje spola na temelju mandibula koje bi bile specifične za hrvatsku populaciju. U našoj zemlji obavljeno je nekoliko istraživanja koja su se koristila drugim kostima ili njihovim dijelovima kako bi se dobili specifični populacijski standardi za određivanje spola. Do sada su u tu svrhu analizirani femur (24) i tibija (25) iz hrvatskih srednjovjekovnih nalazišta. Šlaus je ustanovio znatne razlike između tibija srednjovjekovnih i suvremenih Hrvata (26), pa na temelju toga možemo pretpostaviti da se diskriminantne funkcije iz ovoga istraživanja ne mogu koristiti za suvremene Hrvate te da su za to potrebna daljnja istraživanja.

### Zaključak

Donje čeljusti općenito su bolje razvijene kod muškaraca nego kod žena. Ovim istraživanjem utvrđeno je da dužina korpusa mandibule, mandibularni kut i minimalna širina ramusa pokazuju najveći stupanj spolnog dimorfizma. Te spolno specifična svojstva mandibule omogućuju pouzdano određivanje spola i u slučajevima ako su one oštećene ili djelomice očuvane. Uspostava specifičnih populacijskih standarda za određivanje spola na temelju mandibula kako za drevne, tako i za današnje Hrvate vrlo je važna u arheološkom i forenzičnom radu.

### Zahvala

Istraživanje je obavljeno u sklopu projekta koji je financiralo Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske – projekt 0065004.

lief of muscle attachments. Different cultures exhibit different patterns of occupational stress and that is the reason why population-specific standards must be developed for sex determination.

Until today have not been derived discriminant functions for the determination of sex using mandible specifically for Croatian population. There were several investigations using other bones or bone parts performed in Croatia in order to get population-specific standards for sex determination. Up to now femora (24) and tibiae (25) from medieval Croatian sites were examined. Šlaus found that differences between medieval and contemporary Croatian tibiae are likely to be significant (26), so we can assume that discriminant functions developed in this study cannot be used on contemporary Croats and further studies are needed.

### Conclusion

Lower jaws are generally stronger in males than in females. This research showed that length of the mandibular body, mandibular angle and minimum ramus breadth exhibit the highest degree of sexual dimorphism. These gender specific mandibular features make the sex identification possible and reliable in cases with damaged and partially preserved lower jaws. It is of special importance for archaeological and forensic work to establish population-specific standards for sex determination from the lower jaws for ancient and contemporary Croats.

### Acknowledgements

The research was supported by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia – grant No. 0065004.

### Abstract

Many morphologic characteristics and metric methods have been employed for sex determination. If there are only skulls or fragmented jaws available, identification of sex is made on differences in shape and size of the cranial morphological marks. In the present study, an attempt is made to establish standards for sex determination from fragmentary and complete mandibles from two archeological sites in Croatia. On each mandible 18 parameters were measured. Descriptive and multi-factorial statistics were performed on the collected data and seven discriminant functions were generated. A discriminant function derived from nine mandibular variables provided 92.06% reliability in sex determination. Length of the mandibular body (males  $88.34 \pm 4.67$  mm; females  $81.41 \pm 3.04$  mm), mandibular angle (males  $118.47 \pm 6.16^\circ$ ; females  $125.63 \pm 5.37^\circ$ ) and minimum ramus breadth (males  $31.26 \pm 2.94$  mm; females  $28.36 \pm 2.15$  mm) are detected as variables providing the best separation of the sexes. Results of this study show that mandibles can be used for determining sex, as stated in other similar studies.

**Received:** July 10, 2006  
**Accepted:** August 3, 2006

### Address for correspondence

Marin Vodanović  
University of Zagreb  
School of Dental Medicine  
Department of Dental Anthropology  
Gundulićeva 5  
HR-10000 Zagreb, Croatia  
vodanovic@sfzg.hr

### Key words

sex determination (analysis); mandible; discriminant analysis; archaeology; Croatia

## References

1. Andreasson H, Allen M. Rapid quantification and sex determination of forensic evidence materials. *J Forensic Sci.* 2003;48(6):1280-7.
2. Iscan MY, Kennedy KAR, editors. Reconstruction of life from the skeleton. New York: Alan R. Liss Inc; 1989.
3. Krogman WM, Iscan MY. The human skeleton in forensic medicine. Springfield: Charles C. Thomas; 1986.
4. Graw M, Czarnetzki A, Haffner HT. The form of the supra-orbital margin as a criterion in identification of sex from the skull: investigations based on modern human skulls. *Am J Phys Anthropol.* 1999;108(1):91-6.
5. Kelley MA. Sex determination with fragmented skeletal remains. *J Forensic Sci.* 1979;24(1):154-8.
6. Walrath DE, Turner P, Bruzek J. Reliability test of the visual assessment of cranial traits for sex determination. *Am J Phys Anthropol.* 2004;125(2):132-7.
7. Leopold D, Vollmuller J, Novotny V. Recent developments of sex determination using various skeletal sections. *Beitrag Gerichtl Med.* 1990;48:31-6.
8. Steyn M, Iscan MY. Sexual dimorphism in the crania and mandibles of South African whites. *Forensic Sci Int.* 1998;98(1-2):9-16.
9. Vodanovic M, Brkic H, Slaus M, Demo Z. The frequency and distribution of caries in the mediaeval population of Bijelo Brdo in Croatia (10th-11th century). *Arch Oral Biol.* 2005;50(7):669-80.
10. Rosas A, Bastir M, Martinez-Maza C, Bermudez de Castro JM. Sexual dimorphism in the Atapuerca-SH hominids: the evidence from the mandibles. *J Hum Evol.* 2002;42(4):451-74.
11. Iscan MY, Kedici PS. Sexual variation in bucco-lingual dimensions in Turkish dentition. *Forensic Sci Int.* 2003;137(2-3):160-4.
12. Stroud JL, Buschang PH, Goaz PW. Sexual dimorphism in mesiodistal dentin and enamel thickness. *Dentomaxillofac Radiol.* 1994;23(3):169-71.
13. Alvesalo L, Tammissalo E, Therman E. 47,XXX females, sex chromosomes, and tooth crown structure. *Hum Genet.* 1987;77(4):345-8.
14. Karaman F. Use of diagonal teeth measurements in predicting gender in a Turkish population. *J Forensic Sci.* 2006;51(3):630-5.
15. Brkic H, Kaic Z, Poje Z, Singer Z. Shape of the craniofacial complex in patients with Klinefelter syndrome. *Angle Orthod.* 1994;64(5):371-6.
16. Potsch-Schneider L, Endris R, Schmidt H. Discriminant analysis of the mandible for sex determination. *Z Rechtsmed.* 1985;94(1):21-30.
17. Giles E. Sex determination by discriminant function analysis of the mandible. *Am J Phys Anthropol.* 1964;22:129-35.
18. Dorion RDJ. Sexual differentiation in human mandible. *J Can Soc Forensic Sci.* 1982;15:99-1.
19. Duric M, Rakocevic Z, Donic D. The reliability of sex determination of skeletons from forensic context in the Balkans. *Forensic Sci Int.* 2005;147(2-3):159-64.
20. Oettle AC, Pretorius E, Steyn M. Geometric morphometric analysis of mandibular ramus flexure. *Am J Phys Anthropol.* 2005;128(3):623-9.
21. Kemkes-Grottenthaler A, Lobig F, Stock F. Mandibular ramus flexure and gonial eversion as morphologic indicators of sex. *Homo.* 2002;53(2):97-111.
22. Buschang PH, Baume RM, Nass GG. Relative maturity and size increase of nine craniofacial dimensions during growth. *Am J Phys Anthropol.* 1982;57:174.
23. Slaus M, Pecina-Hrnecic A, Jakovljevic G. Dental disease in the late Medieval population from Nova Raca, Croatia. *Coll Antropol.* 1997;21(2):561-72.
24. Slaus M. Discriminant function sexing of the fragmentary and complete femora from medieval sites in continental Croatia. *Opvsc Archaeol.* 1997;21:167-75.
25. Slaus M, Tomicic Z. Discriminant function sexing of fragmentary and complete tibiae from medieval Croatian sites. *Forensic Sci Int.* 2005;147(2-3):147-52.
26. Slaus M, Strinovic D, Skavic J, Petroveci V. Discriminant function sexing of fragmentary and complete femora: standards for contemporary Croatia. *J Forensic Sci.* 2003;48(3):509-12.