

# Kraniometrijska analiza spolnoga dimorfizma suvremene hrvatske populacije uporabom MSCT-a

---

**Krešić, Elvira**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:269687>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-08**



*Repository / Repozitorij:*

[Dr Med - University of Zagreb School of Medicine  
Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
MEDICINSKI FAKULTET**

**Elvira Krešić**

**Kraniometrijska analiza spolnoga  
dimorfizma suvremene hrvatske  
populacije uporabom MSCT-a**

**DISERTACIJA**



**Zagreb, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
MEDICINSKI FAKULTET**

**Elvira Krešić**

**Kraniometrijska analiza spolnoga  
dimorfizma suvremene hrvatske  
populacije uporabom MSCT-a**

**DISERTACIJA**

Zagreb, 2024.

Disertacija je izrađena u Kliničkom zavodu za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju Kliničkog bolničkog centra Zagreb, a u suradnji sa Sveučilišnim odjelom za forenzične znanosti u Splitu.

Voditelji rada: dr. sc. Igor Erjavec i izv. prof. dr. sc. Željana Bašić

## ZAHVALA

*Zahvaljujem svojim mentorima dr. sc. Igoru Erjavcu i izv. prof. dr. sc. Željani Bašić na pomoći i ugodnoj suradnji pri izradi ove disertacije.*

*Također velika hvala doc. prim. dr. sc. Mislavu Čavki i prof. dr. sc. Maji Prutki na inicijalnom poticaju, usmjeravanju i pomoći. Bez vas moga akademskog puta vjerojatno ne bi bilo.*

*Hvala doc. dr. sc. Ivanu Jerkoviću na strpljenju i pomoći pri statističkoj obradi podataka u ovoj disertaciji.*

*Najveća hvala mojim roditeljima Ankici i Boki te sestri Božidarki kojima posvećujem ovaj rad.*

# SADRŽAJ

## Popis oznaka i kratica

1. Uvod i svrha rada .....	1
1.1. Forenzička antropologija – definicija i povijesni razvoj u svijetu i Hrvatskoj .....	1
1.1.1. Budućnost i izazovi forenzičke antropologije .....	4
1.2. Metode forenzičke antropologije - standardi za identifikaciju i individualizaciju ljudskih ostataka .....	6
1.2.1. Dokumentirane osteološke zbirke – važnost za razvoj standarda .....	7
1.2.2. Virtualne osteološke zbirke .....	9
1.2.3. Standardi za procjenu spola .....	10
1.3. Procjena spola mjerenjem lubanje .....	12
1.3.1. Anatomija lubanje .....	12
1.3.2. Dosadašnja istraživanja spolnoga dimorfizma lubanje .....	19
1.3.2.1. Morfološke i metrijske značajke lubanje važne za procjenu spola .....	19
1.3.2.2. Dosadašnja istraživanja u svrhu izrade statističkih modela za procjenu spola na lubanji u suvremenim populacijama .....	20
2. Hipoteza .....	22
3. Ciljevi .....	23
4. Materijali i metode .....	24
4.1. Uzorak .....	24
4.2. Mjerenje .....	22
4.3. Statistička obrada .....	41
4.4. Etička odobrenja .....	43
5. Rezultati .....	44
5.1. Ponovljivost mjerenja .....	44
5.2. Eksploracijska analiza podataka .....	47

5.3. Regionalne razlike .....	50
5.4. Spolni dimorfizam .....	52
5.5 Procjena spola .....	53
6. Rasprava .....	54
6.1. Ponovljivost mjerenja .....	54
6.2. Regionalne razlike u dobivene u rezultatima i njihov utjecaj .....	56
6.3. Mjere koje su pokazale spolni dimorfizam .....	57
6.4. Formiranje virtualne baze MSCT snimaka i 3D modela .....	60
7. Zaključak .....	61
8. Sažetak .....	62
9. Summary .....	65
10. Popis literature .....	66
11. Životopis .....	75

## POPIS OZNAKA I KRATICA

FBI	Savezni istražni ured (engl. Federal Bureau of Investigation)
INTERPOL	Međunarodna organizacija kriminalističke policije (engl. The International Criminal Police Investigation)
CT	kompjutorizirana tomografija tomografija (engl. Computed Tomography)
MSCT	višeslojna kompjutorizirana tomografija (engl. Multislice Computed Tomography)
MR	magnetna rezonancija
DNK	deoksiribonukleinska kiselina
DICOM	Digitalno oslikavanja i komunikacije u medicini (engl. Digital Imaging and Communications in Medicine)
g	<i>glabella</i>
op	<i>opisthocranion</i>
n	<i>nasion</i>
eu	<i>euryon</i>
zy	<i>zygion</i>
ba	<i>basion</i>
b	<i>bregma</i>
pr	<i>prosthion</i>
ecm	<i>ectomolare</i>
alv	<i>alveolon</i>
ra	<i>radiculare</i>
ft	<i>frontotemporale</i>
fnt	<i>frontomalate temporale</i>
d	<i>dacryon</i>

e	<i>ectoconchion</i>
l	<i>lambda</i>
po	<i>porion</i>
ms	<i>mastoidale</i>
asr	<i>asterion</i>
zma	<i>zygmaxillare anterior</i>
zo	<i>zygoorbitale</i>



# 1. UVOD I SVRHA RADA

## 1.1. Forenzička antropologija – definicija i povijesni razvoj u svijetu i Hrvatskoj

Postoji više inačica definicija forenzičke antropologije, a može se istaknuti ona iz terminološke baze hrvatskoga strukovnog nazivlja koja glasi: „Forenzička antropologija je primijenjena grana biološke antropologije koja s pomoću bioantropoloških metoda rekonstruira događaje i identificira sudionike u sklopu sudskih i/ili policijskih istraga.” (1). Forenzička antropologija mlada je znanstvena disciplina, nastala povezivanjem antropologije i forenzičkih znanosti. Početci sežu u 19. stoljeće kada su se u Sjedinjenim Američkim Državama u javno popraćenim suđenjima rabili iskazi vještaka iz područja antropologije. Začetnik uporabe forenzičko-antropoloških vještačenja bio je Jeffries Wyman, doktor medicine s Harvarda. On je na suđenju profesoru kemije s Harvarda Johnu W. Websteru, optuženom za ubojstvo doktora medicine Georga Parkmana, analizom i svjedočenjem dokazao da kosti koje je Webster uklonio i spalio kako bi onemogućio identifikaciju, pripadaju upravo Parkmanu (2).

Još jedno suđenje za ubojstvo u SAD-u u 19. stoljeću, skrenulo je pozornost na iskaze vještaka iz područja antropologije. Naime, Adolph Luetgert vlasnik tvornice za preradu kobasica iz Chicaga, bio je optužen za ubojstvo svoje žene. Postojala je sumnja da je njezine ostatke uklonio u otopini kalijeva karbonata koja se nalazila u jednoj od bačvi u tvornici. Istražitelji su pronašli članak palca, metatarzalne kosti i glavu rebra za koje je vještak George Amos Dorsey zaključio da pripadaju ostacima žene. Obrana je napala Dorseyu tvrdeći da je nemoguće donijeti zaključke na temelju tako malih fragmenata, no Dorseyevo je vještačenje ipak uzeto u obzir pri donošenju presude (3).

U ranim godinama 20. stoljeća djelovali su brojni stručnjaci koji su otvorili put razvoju forenzičke antropologije sa znanstvenoga aspekta. Earnest Hooton smatra se prvim biološkim antropologom (4), a bio je član organizacijskog odbora American Association of Physical Anthropologists s osnivačem Alešom Hrdličkom, koji je osnovao, danas najpoznatiju, zbirku kostura (Terry Collection). Ona je dio zbirke Instituta Smithsonian koja se sastoji od više desetaka tisuća kostura iz cijeloga svijeta (5). Važno je istaknuti da su Hootonovi suradnici i učenici izradili većinu prvih doktorskih programa iz biološke antropologije. Koštana zbirka Hamann-Todd prva je velika zbirka ljudskih kostura. Inicijalno ju je Carl Hamann počeo prikupljati 1893. godine, a 1912. godine zamijenio ga je Thomas W. Todd. Prikupljeno je 3300

ljudskih lubanja i kostura, 600 lubanja i kostura antropoida te 3000 lubanja i kostura sisavaca (6). Toddov student Wilton M. Krogman 40-ih godina 20. stoljeća pomogao je u prihvaćanju forenzičke antropologije kao legitimne poddiscipline antropologije. Krogman je u biltenu FBI-a objavljivao članke o važnoj ulozi antropologa u identifikaciji koštanih ostataka. U tom su se razdoblju savezne agencije, među njima i FBI, prvi put službeno koristile uslugama antropologa. Pedesetih godina 20. stoljeća, vojska Sjedinjenih Američkih Država angažirala je forenzičke antropologe za identifikaciju ljudskih žrtava tijekom Korejskog rata (7). Tada prikupljeni podatci, kao i veliki priljev kostura dostupnih za proučavanje, omogućio je stvaranje statističkih modela za identifikaciju spola i dobi (8) temeljenih isključivo na karakteristikama i/ili mjerama kostura. Ovim i sličnim standardima se i danas koriste forenzički antropolozi za procjenu spola, dobi i prosječne tjelesne visine (9, 10, 11, 12, 13).

Početak devedesetih godina prošlog stoljeća u Hrvatskoj počinju suvremena bioarheološka istraživanja, a predvodnici su Mario Šlaus, Jadranka Boljunčić i Aida Šarić-Bužančić. Oni su objavili brojne radove u kojima su analizirana hrvatska nalazišta različitih povijesnih razdoblja (5). Također treba spomenuti tri dodatna čimbenika koja su pridonijela znanstvenoj djelatnosti u području biološke, ali i forenzičke antropologije. Prvi čimbenik je aktivnost hrvatskih antropologa predvođenih Pavlom Rudanom i Hubertom Maverom koji su 1977. osnovali Hrvatsko antropološko društvo i časopis „Collegium Antropologicum“ u kojemu su obrađivane teme iz antropologije. Rad u tome društvu rezultirao je godišnjim održavanjem međunarodnih znanstvenih radnih skupina pod nazivom Škola biološke antropologije, izdavanje trinaest obrazovnih knjiga, organiziranje Prvog kongresa europskih antropologa (1977.) i 12. međunarodnog kongresa antropoloških i etnoloških znanosti (1988.). Sve navedeno omogućilo je osnivanje Instituta za antropologiju u Zagrebu 1992. godine (14). Drugi čimbenik je stvaranje Osteološke zbirke Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti (1991.). Zbirka sadržava osteološku građu s brojnih arheoloških nalazišta (datiranih u rasponu od 8000 godina prije Krista do 18. stoljeća), a broji više od 5000 kostura. Treći čimbenik je osnivanje dvaju kolegija iz bioarheologije na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Zadru (1998.) te na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (1999.) (5). Razvoju forenzičke antropologije u Hrvatskoj zamah je dao, nažalost, Domovinski rat. U Hrvatskoj se nalaze brojne pojedinačne i masovne grobnice koje je bilo, i još uvijek je potrebno, identificirati. Najveći udio čine koštani ostaci iz razdoblja Drugog svjetskog rata i poraća te iz Domovinskog rata (15). Veliku ulogu u identifikaciji žrtava odigrala je suradnja SAD-a i Hrvatske uspostavljanjem projekta u kojemu

su sudjelovali forenzički antropolozi iz Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, Zavoda za sudsku medicinu i kriminalistiku Medicinskog fakulteta u Zagrebu, Instituta Smithsonian u Washingtonu te Sveučilišta Tennessee u Knoxvilleu. Izrađena je baza podataka koja je sadržavala podatke o spolu, dobi, stasu, metrijskim značajkama, osteološkoj i dentalnoj patologiji, antemortalnim traumama i mogućem uzroku smrti. Navedena baza podataka izrađena je prema modelu baze podataka razvijene na Sveučilištu Tennessee, radi potpunijeg prikupljanja podataka, kao i pretraživanja i analize te razvoja statističkih modela za procjenu spola, procjenu rasta i definiranje drugih svojstava korisnih za usporedno istraživanje i forenzičku analizu. Formiranje ove baze pridonijelo je visokom udjelu pozitivno identificiranih žrtava (16). Osim pomoći u identifikaciji ljudskih koštanih ostataka s pomoću antropoloških i odontoloških metoda, veliki je doprinos dalo i uvođenje DNK analize, pri čemu je Hrvatska također imala pomoć inozemnih stručnjaka. Tako su Anđelinović i sur. objavili analizu 1155 kosturnih ostataka koji su rezultirali sa 703 pozitivno identificirana tijela. Njih 577 je identificirano standardnim forenzičkim metodama, 109 analizom DNK i 17 kombinacijom dviju metoda (17, 18). Od 264 osobe na popisu nestalih uz vukovarske bolnice, identificirane su 194 osobe koje su ekshumirane iz masovne grobnice na Ovčari (klasičnim metodama je identificirano 46,5 %, a DNK analizom 49,5 %) (19).

Također, na Sveučilišnome odjelu za forenzične znanosti Sveučilišta u Splitu, od 2009. godine uveden je studij Forenzika na kojem studenti pohađaju kolegije vezane za forenzičku i biološku antropologiju, analizu žrtava masovnih grobnica i masovnih katastrofa te primarnih i sekundarnih metoda identifikacije. U prostorima Odjela formiran je i Laboratorij za forenzičnu i biološku antropologiju, u čijoj je ingerenciji koštana zbirka s više od 4000 kostura iz razdoblja prapovijesti do Drugoga svjetskog rata (20).

### **1.1.1. Budućnost i izazovi forenzičke antropologije**

Ubelaker je u svome radu iz 2018. godine prikazao istraživački napredak u nekoliko područja forenzičke antropologije čiji se daljnji razvoj očekuje u budućnosti. Prvi segment je molekularna analiza koštanih ostataka. Analiza DNK-a ima značajan utjecaj na identifikaciju osobe i procjenu njezinog podrijetla. Unatoč velikim zaslugama DNK analize, postoji potreba za novim istraživanjima i tehnološkim razvojem, posebno zbog čestih izazova s kojima se susreću forenzički antropolozi. Pronađeni ostatci često nisu u savršenom stanju, bilo da su fragmentirani ili izrazito degradirani zbog kriminalnih radnji ili prirodnih čimbenika. Odluke o tome koje dijelove kostiju ili zuba ispitati, postaju ključne jer je DNK analiza skupa i destruktivna u smislu oštećivanja koštanih ostataka iz kojih se uzimaju uzorci. Iskustvo i istraživanja doprinijeli su poboljšanju pristupa rješavanju tih izazova. Jedno od područja koje forenzička antropologija sve više istražuje je i područje identifikacije preminulih migranata, s naglaskom na ilegalne migrante. Identifikacija građana, čak i unutar zemlje, može biti izazovna zbog nepotpunih tragova i nedostatka informacija o nestalim osobama. Kada je uključeno više država i kada se međunarodno kretanje osobe ne registrira službeno, takvi slučajevi zahtijevaju pažljivu analizu i suradnju različitih organizacija. U zadnjih nekoliko godina ulažu se značajni naponi u rješavanju problema identifikacije preminulih ilegalnih migranata, uključujući međunarodnu suradnju, ekshumaciju, antropološku analizu i primjenu novih tehnika poput analize izotopa za procjenu mogućih regija ili zemalja podrijetla. Proučavanjem stabilnih izotopa ugljika i dušika iz ljudskih tkiva, moguće je otkriti detalje o prehrani i trofičkoj razini, što omogućuje utvrđivanje pripadaju li ljudski ostatci lokaciji na kojoj su nađeni, a ako ne, može se pokušati odrediti geografsko područje iz kojega, potječu. Nadalje, obzirom na to da cijeli proces identifikacije započinje postupcima pretraživanja, detekcije i pronalaženja ljudskih ostataka, nepravilno ili nedovoljno detaljno otkrivanje, može ugroziti analizu. Tradicionalne metode su važne, ali nove tehnologije pružaju značajna poboljšanja. Istraživanja u posebnim uvjetima, poput bunara ili masovnih grobnica, zahtijevaju inovativne pristupe, tako da istraživači razvijaju nove metode kako bi povećali uspjeh u pronalaženju ljudskih ostataka. Još jedno područje forenzičke antropologije, istraživanje je procesa raspadanja. Otkriveni su mnogi čimbenici koji utječu na prirodu i tijek raspadanja, uključujući temperaturu, lokaciju, uvjete tla, vlagu, tjelesni sastav te druge čimbenike. Te informacije ključne su za procjenu vremena protekloga od vremena smrti, kao i događaja nakon smrti, osobito u forenzičkim

analizama povezanim s kriminalnim radnjama. Forenzički antropolozi bave se i analizom slikovnih prikaza lica i kostiju lica u kontekstu aproksimacije lica i kraniofacijalne fotografske superpozicije. Novija su istraživanja usmjerena na poboljšanu uporabu računala i ostale tehnologije, te razumijevanje veze između mekih tkiva i kosti (21, 22).

U slučaju masovnih katastrofa, bilo da su uzrokovane prirodnim ili ljudskim čimbenicima, pronađeni ostatci često su jako loše očuvani i fragmentirani. Uzevši u obzir složene okolnosti na mjestu masovne katastrofe, važno je izbjeći svaku mogućnost pogreške te je stoga potrebno imati standardizirane protokole identifikacije kako bi cijeli proces bio što učinkovitiji. Zato je INTERPOL razvio smjernice i protokol za identifikaciju, a u čijoj su radnoj skupini bili zastupljeni i forenzički antropolozi (23), što je dokaz prepoznavanja uloge forenzičke antropologije i potrebe za timskim radom (24). Također je važno sagledati činjenicu koliko tehnološki razvoj slikovnih radioloških metoda pomaže daljnjem razvoju forenzičke antropologije. Primjer je CT koji pruža bolji uvid u detalje kostiju u odnosu na klasične radiografske snimke i obzirom na sve veću dostupnost ove tehnologije, postaje osnovni slikovni alat. CT snimke imaju i ključnu ulogu za stvaranje virtualnih koštanih zbirki u kojima se najbolje ogleda potreba za interdisciplinarnim pristupom medicine, tj. radiologije i antropologije (25).

## 1.2. Metode forenzičke antropologije - standardi za identifikaciju i individualizaciju ljudskih ostataka

Forenzički se antropolog u svome radu koristi dvjema osnovnim metodama u analizi koštanih ostataka, morfološkom (koja se temelji na vanjskom pregledu morfologije kostiju) te osteometrijskom (koja se temelji na mjernim podacima, a oni se uspoređuju s već postojećim bazama podataka, odnosno statističkim modelima izrađenim na temelju njih) s ciljem identifikacije i individualizacije (26).

Individualizacija se definira kao „postupak kojim se utvrđuje da objekt ili trag potječe od točno određenoga, jedinstvenoga izvora“ (27). Identifikacija je „postupak utvrđivanja obilježja objekta i traga koja ih čine onim što jest“ (28).

Procjena spola osnovni je korak u procesu identifikacije. Metode koje se koriste, dakle, metrijske i morfološke, uzimaju u obzir veličinu i oblik (29). Spolni dimorfizam se najčešće procjenjuje koristeći kosti zdjelice i lubanje i to s točnošću većom od 95 %, odnosno 90 %, kod iskusnih istraživača i na poznatoj populaciji (30). Pri procjeni spola s pomoću kostiju zdjelice, moguće je uzeti u obzir niz parametara: oblik križne kosti (lat. *os sacrum*), građu i veličinu bočne kosti (lat. *os ilium*), acetabula (lat. *os acetabulum*), oblik preponske kosti (lat. *os pubis*), veličinu *foramen obturatorius*, subpubični konkavitet (31). Za lubanju postoje također različiti parametri po kojima se utvrđuje spol, no s manjom točnošću nego kod zdjelčnih kostiju. Buikstra i Ubelaker (32) su predložili pet čimbenika koji pokazuju najjači spolni dimorfizam na lubanji, pritom su isključili robusniju građu i veličinu karakterističnu za muške lubanje. Navedeni čimbenici su sljedeći: nuhalni greben, mastoidni nastavak, supraorbitalni brid, glabelarna regija i *trigonum mentale*. Novija istraživanja proučavaju hrapavost supranazalne regije (33) i odontometrijsku analizu buko-lingvalne regije (34) kao kranijalne parametre koji bi dodatno olakšali identifikaciju.

Giles i Elliot su 1963. godine analizirali lubanje iz zbirke Terry i Hamann–Todd. Na 408 lubanja američke bjelačke i crnačke populacije, mjerili su jedanaest kranijalnih mjera (najveća duljina, duljina *nasion – opisthocranion*, najveća širina, visina *basion – bregma*, duljina baze, širina između jabučica, duljina *basion – prosthion*, gornja visina lica, širina nosa, maksilo–alveolarna širina i duljina mastoidnog nastavka). Samo devet mjera (sve prethodno navedene, osim širine nosa i duljine *nasion-opisthocranion*) je upotrijebljeno u dvadeset i jednoj kombinaciji kako bi se izradile diskriminantne funkcije za procjenu spola. Točnost procjene

spola za obje populacije iznosila je 82 – 89 % (35). Posebno je važno naglasiti da je procjena spola temeljena na metrijskim analizama populacijski specifična što dokazuje i veliki broj radova (36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46).

Sljedeći korak važan u identifikaciji koštanih ostataka jest procjena dobi. Ubelaker navodi da je to postupak koji se zasniva na promatranju izgleda koštanih ostataka te usporedbi njihovih morfoloških karakteristika s dokumentiranim karakteristikama uzorka poznate dobi koji pripada suvremenoj populaciji (47). Za procjenu dobi kao jedna od najpouzdanijih metoda ostaje izračunavanje dentalne starosti, što je osnovni zadatak forenzičkog stomatologa (15). Najčešće se dob na kosturnim ostatcima određuje pregledom izgleda simfize preponske kosti, sternalnog kraja četvrtog rebra i aurikularne plohe bočne kosti. Prema metodi koju su uveli Brooks i Suchey, na simfizi preponske kosti može se razlikovati šest razdoblja s pomoću kojih se određuje dob (48). Prema izvornoj metodi koju su razvili Íşcan i Loth postoji devet razdoblja u procesu starenja i relevantnih promjena sternalnog kraja četvrtog rebra (49). Dob osobe može se procijeniti i pregledom šavova kranija i nepca. Najčešće se rabi metoda pregleda sedamnaest šavova koji se ocjenjuju ocjenama od nula do tri. Ocjena nula primjenjuje se za otvoreni šav, ocjena jedan za djelomično zatvoreni šav, ocjena dva za značajno zatvoreni šav i ocjena tri za potpuno zatvoreni šav. Vrijednosti koje se dobiju zbrajanjem svih ocjena uspoređuju se s poznatim standardom, uz standardnu devijaciju od deset godina (50, 51, 52).

### **1.2.1. Dokumentirane osteološke zbirke – važnost za razvoj standarda**

Dokumentirane osteološke zbirke temelj su forenzičke antropologije, jer su razvoj i testiranje osteoloških metoda važnih za utvrđivanje identiteta, poput dobi, spola, populacijske pripadnosti i prosječne tjelesne visine, uvjetovani postojanjem dokumentiranih zbirki. Analiza kostura poznatoga spola, dobi, patologije i uzroka smrti, bila je ključna za razvoj forenzičke antropologije u SAD-u. Kao u mnogočemu, Sjedinjene Američke Države prednjače i u broju dokumentiranih osteoloških zbirki. Više od dvadeset i šest ljudskih osteoloških zbirki postoji u SAD-u, a najpoznatije su zbirke Robert J. Terry Anatomical Collection i William M. Bass Donated Skeletal Collection (53). Većina zbirki je prikupljena donacijama tijela u znanstvene svrhe. Također postoje i donacije iz privatnih zbirki. Moderne donirane zbirke u SAD-u su Hamilton County Forensic Center Donated Collection koja se nalazi u Chattanooga, u Tennesseeju (sastoji se od 67 kostura za koje su poznati dob, spol i uzrok smrti) te Maxwell Museum's Documented Skeletal Collection u Albuquerqueu u državi New Mexico (ova zbirka sadrži 300 kostura muškaraca i žena svih dobnih skupina, također je poznata dob, spol i uzrok smrti) (54).

Kultura doniranja tijela u znanstvene svrhe u SAD-u je na visokoj razini razvoja, što je u Europi, a posebno u Hrvatskoj, značajno manje izraženo. Moderne osteološke zbirke u Europi su sljedeće: Skeletal Collection of Évora (160 kostura, 90 muškaraca i 70 žena, poznati su dob, spol, uzrok smrti, nacionalnost i zanimanje), Granada Osteological Collection (zbirka se sastoji od 230 kostura fetusa i djece, većinom dobi do jedne godine, 128 je muškog spola, 93 ženskog spola te 9 fetusa nepoznatog spola), UAB Collection Barcelona (35 kostura, 19 muškaraca i 16 žena, raspon dobi od 31 godine do 97 godina), The CAL Milano Cemetery Skeletal Collection (2127 kostura, oba spola su podjednako zastupljena, raspon dobi od 0 godina do 104 godine), University of Athens Human Skeletal Reference Collection (237 kostura, poznati su podaci o spolu, dobi, uzroku smrti i mjestu rođenja), Rainer Osteological Collection Bucharest (sadrži lubanje 2162 muškarca i 1232 žene, 80 % je umrlo u dobi između 18 i 60 godina, 18 % ih je umrlo u dobi između 60 i 80 godina, a ostali u dobi iznad 80 godina; oko 200 lubanja je dječjih) te The Lithuanian Osteological Reference Collection Vilnius (189 parova preponskih kostiju i 170 ostataka kompletiranih kostiju zdjelice, poznate dobi i spola) (54, 55).

Kako bi se premostio manjak dokumentiranih koštanih zbirki, u porastu je stvaranje virtualnih osteoloških zbirki (56, 57).



### 1.2.2. Virtualne osteološke zbirke

Razvojem 3D tehnologija omogućena je virtualna obdukcija (engl. virtopsy), neinvazivna metoda koja se obavlja pomoću računalne tomografije, magnetske rezonancije, trodimenzijske fotogrametrije ili skeniranja površine tijela. Virtualna obdukcija uključuje multidisciplinarni pristup različitih struka s naglaskom na slikovne radiološke metode poput CT-a i MR-a. Radiološke slikovne metode pokazale su se boljima od klasičnih obdukcija u otkrivanju određenih trauma lubanje, kostura ili tkiva (58).

3D tehnologije također imaju veliku ulogu u kreiranju virtualnih osteoloških zbirki, što je rezultat transdisciplinarnog karaktera današnje znanosti. Kao što je ranije spomenuto, manjak dokumentiranih osteoloških zbirki može se nadomjestiti virtualnim osteološkim zbirka. Ostale prednosti virtualnih zbirki su lakše i brže dijeljenje podataka među istraživačima, što omogućuje komparativna istraživanja i očuvanje kostiju od daljnjeg oštećenja. Primjeri digitalnih zbirki su „3D collection” Smithsonian Instituta koja sadržava zbirke iz različitih područja života, među kojima je i zbirka pod nazivom „Hominin Fossils“ u kojoj su 3D modeli lubanja različite arheološke starosti i „From Cemetery to Clinic” Sveučilišta u Bradfordu koja sadržava zbirku ostataka osoba s gubom (59, 60, 61).

Dodatna prednost pri stvaranju virtualnih koštanih zbirki sve je veći broj besplatnih softverskih paketa, poput 3D Slicera, koji služe za pregledavanje CT snimaka, obradu podataka u smislu trodimenzijskog prikaza (engl. volume rendering) te pripremu 3D modela za ispis (62). U sklopu uspostavnog projekta Hrvatske zaklade za znanost (UIP-2020-02-7331) pod nazivom Forenzička analiza ljudskih ostataka analizom MSCT snimaka (CTforID), formirana je virtualna baza lubanja iz CT snimaka angiografije glave i vrata na Sveučilišnome odjelu za forenzične znanosti Sveučilišta u Splitu, a sadrži preko 600 MSCT snimaka lubanja.

### 1.2.3. Standardi za procjenu spola

Tri su metodološka pristupa procjene spola na koštanim ostatcima: morfološki, osteometrijski i DNK analiza.

Morfološke metode procjene spola na kostima uključuju pregled morfologije kostiju koje su spolno dimorfične, prvenstveno zdjelice kosti i lubanja, a onda i ostale kosti.

Najpouzdanija je procjena spola prema karakteristikama kostiju zdjelice zbog uloge zdjelice u porođaju. Naime, ženama je širi trup preponske kosti, širi je veliki sjedni urez i uzdignuta aurikularna zglobova ploština. U skladu s navedenim, zdjelice kosti žene je kraći i širi od zdjelice kosti muškarca, a kanal koji čini takozvana mala zdjelica (donji dijelovi zdjelice kosti, križna i trtična kost) ravniji je i širi u žena nego u muškarca (5, 63).

Lubanja je također visoko pouzdana za procjenu spola prema morfološkim karakteristikama koje će biti detaljno opisane kasnije u tekstu pod morfološkim značajkama lubanje važnima za procjenu spola (64).

Bez obzira na dobro definirane razlike u izgledu muškog i ženskog skeleta, nužno je istaknuti da je procjena spola morfološkim metodama subjektivna te uvelike ovisi o iskustvu osobe koja obavlja istraživanje, očuvanosti kostiju koje se analiziraju, kao i poznavanju određenih karakteristika populacije kojoj promatrane kosti pripadaju (47, 65).

Osteometrijske metode posebno su važne za primjenu na onim kostima koje nemaju jasne morfološke spolne razlike (66). Otkako je Ronald A. Fischer razvio statističku metodu diskriminantne funkcijske analize, ona se rabi u forenzičkoj antropologiji za procjenu spola (67). Glavna prednost osteometrijskih metoda je u korištenju standardnih mjera kostura čime se isključuje subjektivnost koja je prisutna kod morfoloških metoda. Međutim, većina jednadžbi za procjenu spola dobivenih iz standardnih mjera kostura su populacijski specifične te je njihovo korištenje uputno samo za populaciju za koju su izrađene (68). Za hrvatsku modernu populaciju do sada nisu izrađene populacijski specifične mjere za čitavu lubanju. Dosadašnja istraživanja rađena su na bedrenoj i goljeničnoj kosti žrtava iz Domovinskog rata (69, 70), na acetabulu (71) te uporabom CT-a na prsnoj kosti (72) i na orbitama (45).

Zlatnim standardom za određivanje spola na kosturnim ostatcima smatra se analiza DNK-a, koja nadilazi populacijsku specifičnost metrijskih metoda i subjektivnost morfoloških metoda

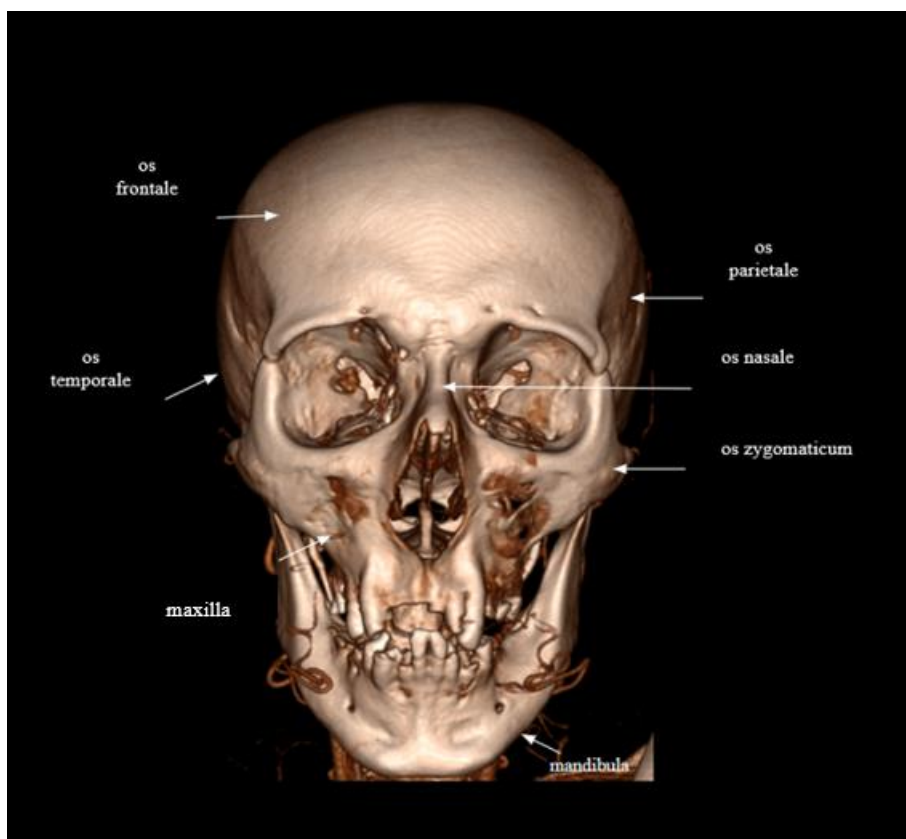
(73). Razlike između verzija X kromosoma i Y kromosoma gena za amelogenin (AMELX odnosno AMELY) omogućuju određivanje spola. Naime, lančanom reakcijom polimeraze umnažaju se ciljani dijelovi amelogenin gena te se pojavljuju ulomci DNK-a različitih duljina. U muškaraca se pojavljuju dva ulomka različitih duljina (112 parova baza i 106 parova baza). Računalnom obradom dobiju se dva zupca različite veličine. U žena se nakon lančane reakcije polimeraze pojavljuju dva ulomka iste duljine (106 parova baza), što rezultira jednim vidljivim zupcem nakon računalne obrade. Ipak, postoji mogućnost pogrešne interpretacije AMELY gena (74). To se može dogoditi ili mutacijom u regijama AMELY introna 1 te umetanjem 6 pb u AMELY intron 1 što rezultira amplikonom koji je identične duljine kao AMELX, dok se u nekih muškaraca može dogoditi brisanje AMELY gena. U oba slučaja lančanom reakcijom polimeraze nakon računalne obrade, bit će prikazan jedan zubac što se može krivo interpretirati kao DNK ženske osobe (75, 76).

Zato se danas upotrebljavaju i drugi markeri, poput SRY tj. proteina regije Y koji je smješten na distalnom kraju kratkog kraka Y kromosoma. Važan je za određivanje muškog spola jer pokreće slijed koraka potrebnih za formiranje testisa iz nediferencirane gonade (77).

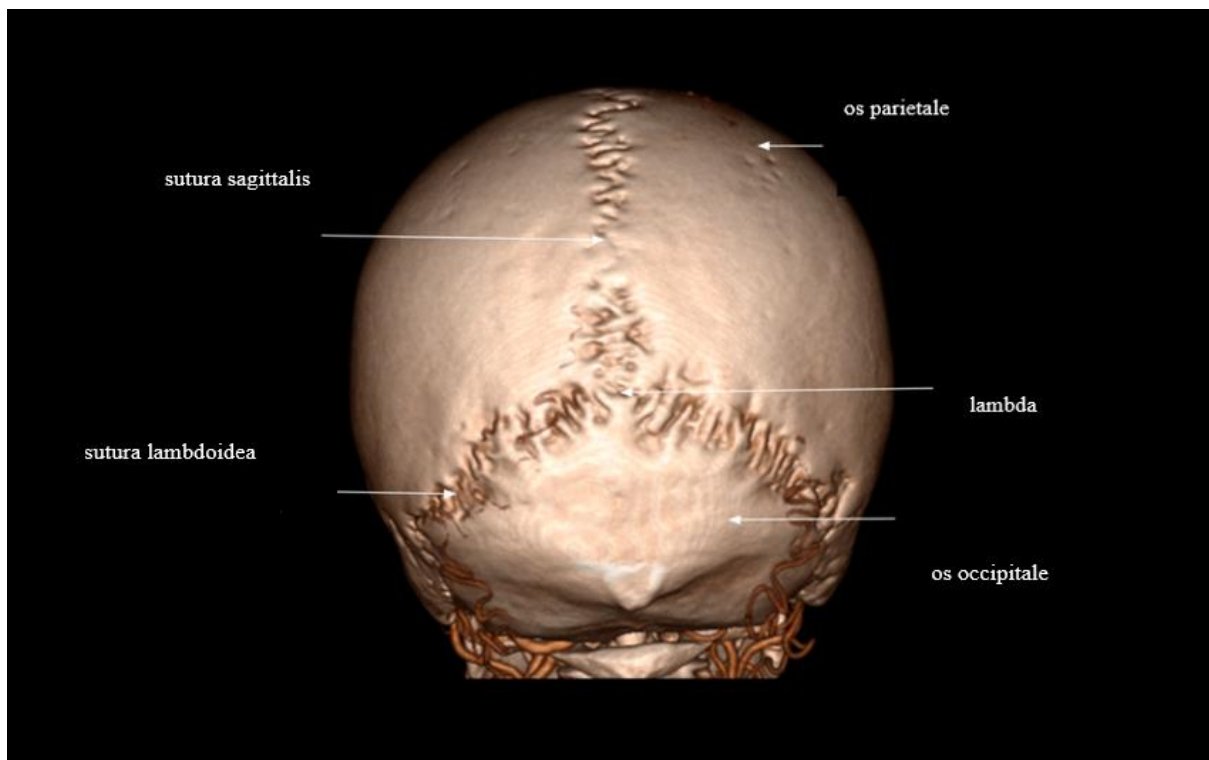
### 1.3. Procjena spola mjerenjem lubanje

#### 1.3.1. Anatomija lubanje

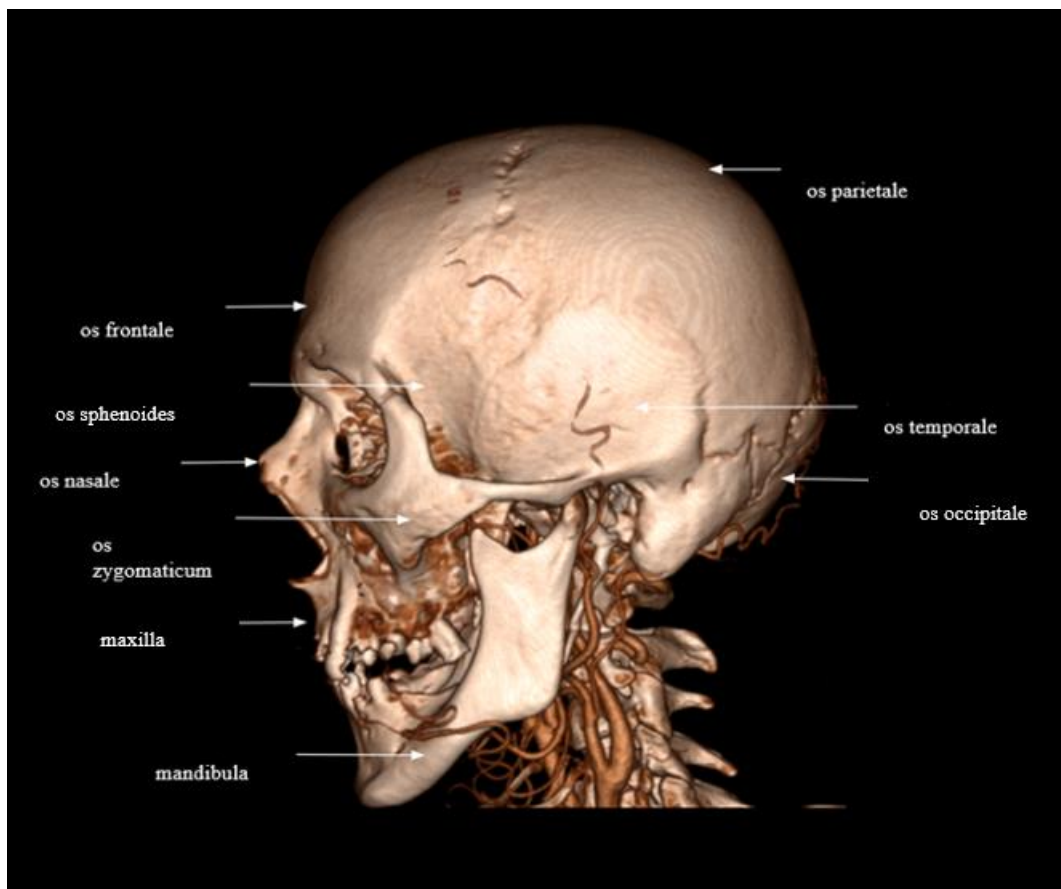
Lubanja je koštana struktura koja daje oblik licu i štiti mozak. Građena je od dvadeset i dvije kosti koje su podijeljene u dvije grupe: osam lubanjskih kostiju i četrnaest kostiju lica. Kosti lubanje su podijeljene na krov i bazu. Kosti krova su čeona (lat. *frontale*), zatiljna (lat. *occipitale*), desna i lijeva tjemena (lat. *parietale*). Kosti baze lubanje su rešetnica (lat. *ethmoidale*), klinasta (lat. *sphenoidale*) te desna i lijeva sljepoočna (lat. *temporale*). Kosti lica su gornja čeljust (lat. *maxilla*), donja čeljust (lat. *mandibula*), nepčana (lat. *palatinum*), nosna (lat. *nasale*), suzna (lat. *lacrimale*), donja nosna školjka (lat. *concha nasi inferior*), jagodična (lat. *zygomaticum*), raonik (lat. *vomer*). Često se i jezična kost (lat. *os hyoideum*) svrstava u ovu skupinu. Glavni šavovi lubanje su vjenačni (lat. *sutura coronalis*), uzdužni tjemeni (lat. *sutura sagittalis*), lambdoidni (lat. *sutura lambdoidea*) i ljuskavi (lat. *sutura squamosa*) (Slike 1. – 4.) (78).



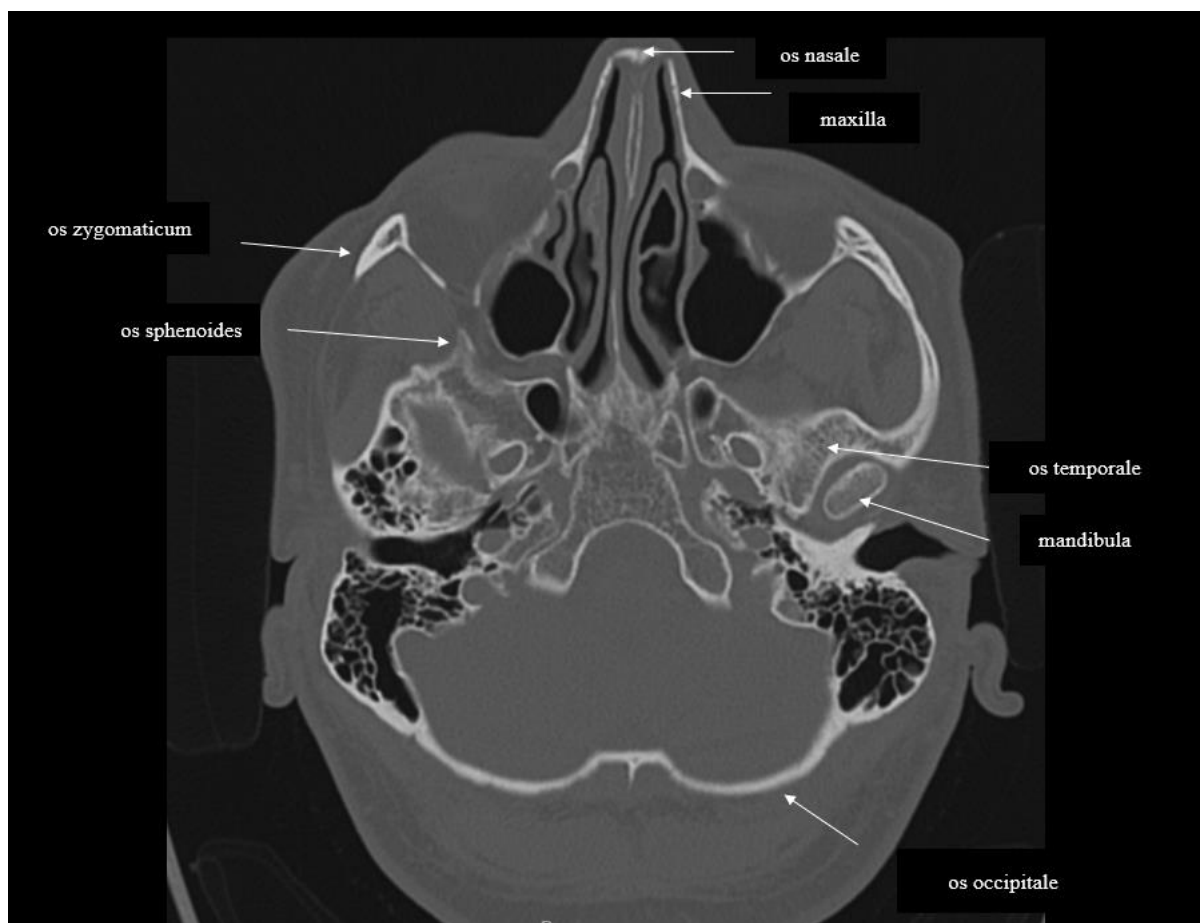
Slika 1. Prikaz kostiju lubanje na 3D CT rekonstrukciji, pogled sprijeda (iz vlastite arhive).



Slika 2. Prikaz kostiju lubanje i lubanjskih šavova na 3D CT rekonstrukciji, pogled straga (iz vlastite arhive).



Slika 3. Prikaz kostiju lubanje na 3D CT rekonstrukciji, bočni pogled (iz vlastite arhive).



Slika 4. Prikaz kostiju lubanje; baza kranija i parcijalni prikaz kostiju lica na CT pregledu, aksijalni presjek, koštani prozor (iz vlastite arhive).

Anatomske točke lubanje su: *alveolon* (točka na tvrdome nepcu gdje se sijeku središnja sagitalna ravnina i ravnina povučena kroz najposteriornije točke alveolarnog grebena), *asterion* (točka na sjecištu lambdoidnoga, parijetomastoidnoga i okcipitomastoidnoga šava), *basion* (točka na najnižem dijelu prednjeg ruba velikog lubanjskog otvora), *bregma* (točka sjecišta uzdužnoga tjemelog i vjenačnoga šava lubanje), *dacryon* (točka na medijalnoj granici orbite u kojoj se spajaju čeona kost, suzna kost i gornja čeljust), *ectoconchion* (točka sjecišta najanteriornije točke lateralnoga ruba orbite i linije paralelne na gornji rub orbite koja orbitu siječe na dva jednaka dijela), *ectomolare* (najlateralnija točka na vanjskoj površini alveolarnog ruba gornje čeljusti), *euryon* (najlateralnija točka vanjskoga svoda lubanje), *frontomalare temporale* (najlateralnije smještena točka na frontomalarnome šavu), *frontotemporale* (točka koja se nalazi sprijeda i prema unutra na gornjoj temporalnoj liniji neposredno iznad



jagodičnoga nastavka čeone kosti), *glabella* (najlateralnija točka u središnjoj sagitalnoj ravnini na donjem rubu čeone kosti), *lambda* (točka na sjecištu sagitalnoga i lambdoidnoga šava na vanjskome svodu lubanje), *mastoidale* (točka koja se nalazi na vrhu mastoidnoga nastavka), *nasion* (najizbočenija točka nazofrontalnoga šava), *opisthocranion* (najizbočenija točka na sjecištu lambdoidnoga i sagitalnoga šava na vanjskome svodu lubanje), *opisthion* (najposteriornija točka na velikom otvoru lubanje u središnjoj sagitalnoj ravnini), *prosthion* (točka smještena između središnjih sjekutića), *porion* (točka smještena na najvišem dijelu vanjskoga slušnog hodnika), *radiculare* (točka na bočnoj strani korijena jagodičnoga nastavka na mjestu najveće zakrivljenosti), *zygion* (najlateralnija točka na jagodičnome luku), *zygomaxillare anterior* (točka na sjecištu podočnoga šava i hvatišta žvačnoga mišića), *zygoorbitale* (točka u kojoj podočni šav siječe donji rub orbite) (78).

Spolni dimorfizam lubanje uvjetovan je hormonskim statusom: androgeni (testosteron) izravno potiču putem molekularnih i staničnih mehanizama osteoblaste, što dovodi do izraženijeg formiranja kosti. Androgeni također potiču formiranje mišića tako što stimuliraju sintezu proteina u mišićima. Budući da muškarci imaju višu razinu testosterona, dodatna mišićna masa utječe na to da muške kosti podnose veće kompresijske sile, stoga su područja hvatišta mišića na kostima muškaraca robusnija, pa je shodno tomu i lubanja veća i robusnija (79, 80).

Starenjem se događaju određene promjene na lubanji. *Apertura piriformis* starenjem postaje veća i njezina baza postaje duža. Dno orbite se širi prema dolje i postranično pritom gubeći okrugli oblik koje imaju lubanje mlađih osoba. Gornja čeljust je prominentnija u mlađoj dobi, dok starenjem dolazi do apsorpcije kosti u prednjem i donjem dijelu gornje čeljusti pa se dobiva dojam retruzije lica. Na jagodičnim kostima resorpcija se zbiva u prednjem dijelu dok u području luka jagodične kosti dolazi do pregradnje. Kod donje čeljusti prati se u stražnjem i gornjem dijelu formiranje kosti, a u prednjem i donjem resorpcija. S gubitkom zuba donja čeljust dodatno atrofira pa se kut donje čeljusti povećava s godinama (81).

## **1.3.2. Dosadašnja istraživanja spolnoga dimorfizma lubanje**

### **1.3.2.1. Morfološke i metrijske značajke lubanje važne za procjenu spola**

Lubanja muškarca najčešće je veća i robusnija od lubanje žene. U muškaraca su orbite manje, čeona kost je položena koso te su izraženi nadočni lukovi. Mastoidni je nastavak u muškaraca veći nego u žena, uz jače izražene sulkuse (lat. *m. sternocleidomastoideus*). Naglašenije su i koštane pruge (lat. *linea nuchalis superior et inferior*) na zatiljnoj kosti koje su mjesta insercije mišića vrata. Jasno su vidljive i razlike na donjoj čeljusti u smislu da je kod žena tanja i manja nego kod muškaraca (5, 31, 47, 64, 82).

Kao što je ranije u tekstu navedeno, bez obzira na dobro definirane razlike u morfološkim karakteristikama kostura žena i muškaraca, procjena spola pomoću morfoloških metoda je subjektivna (47).

Za procjenu spola na lubanji metrijskim metodama rabi se dvadeset i osam standardnih mjera (83) koje će detaljno biti objašnjene kasnije u disertaciji (u poglavlju Materijali i metode).

### 1.3.2.2. Dosadašnja istraživanja u svrhu izrade statističkih modela za procjenu spola na lubanji u suvremenim populacijama

U svijetu su provedena istraživanja na lubanji, cjelovitoj i djelomičnoj, u svrhu uspostave standarda za metričku procjenu spola u mnogim modernim populacijama. Ogawa i suradnici su na 113 (73 muškarca i 40 žena) lubanja moderne japanske populacije utvrdili devet diskriminantnih funkcija za procjenu spola na lubanjama čija je točnost 80 % – 90 % (84).

Spradely i suradnici radili su istraživanje univarijantnih i multivarijantnih metoda određivanja spola na lubanji, donjoj čeljusti, i postkranijalnom kosturu na modernoj populaciji američkih bijelaca i crnaca. Za lubanju su dobili sljedeće rezultate: za obje populacije (i bjelačku i crnačku) ukupna unakrsno validirana točnost iznosila je 90 % – 91 % (85).

Toneva i suradnici su objavili istraživanje na bugarskoj modernoj populaciji od 169 odraslih muškaraca i 224 odrasle žene. Na CT snimkama su primijenili metodu potpornih vektora i umjetnu neuronsku mrežu kao klasifikatore spola te pokušali odrediti korisne modele klasifikacije za procjenu spola na temelju mjera lubanje. Ukupna točnost klasifikacijskih metoda standardnih (linearnih kranijalnih mjera), ali i nestandardnih mjera (određenih kuteva) bila je veća od 90 % (86).

Gonzalez-Colmenares i suradnici istraživali su kolumbijsku modernu populaciju na 115 lubanja (44 ženske i 71 muška). Izradili su dvije diskriminantne funkcije za procjenu spola. Klasifikacijska točnost bila je u rasponu od 84,1 % do 88,6 % (87).

Kanchan i suradnici su na indijskoj modernoj populaciji analizirali spolni dimorfizam mastoidne jame. Istraživanje su proveli na 118 lubanja (69 muškaraca i 49 žena). Zaključili su da je mastoidna jama slabo spolno dimorfična (za mastoidni trokut točnost je bila 67 %, za udaljenost između točaka *asterion* i *porion* 65,8 % i za udaljenost točaka *porion* i *mastoidale* 64,5 %) (88).

Spolni dimorfizam lubanje na turskoj modernoj populaciji istraživali su Meral i suradnici. Koristili su se CT snimkama 300 muškaraca i 300 žena te je ukupna točnost procjene spola u ovome istraživanju iznosila 88 % (89).

Cappella i suradnici analizirali su 80 lubanja (40 muškaraca i 40 žena) talijanske moderne populacije. Statistički značajni spolni dimorfizam pokazan je za sljedeće mjere: najveća duljina lubanje (GOL), širina između jabučica (ZYB), duljina baze lubanje (BNL), biaurikularna širina (AUB), gornja širina lica (UFBR), visina nosa (NLH), širina očne šupljine (OBB), biorbitalna širina (EKB), čeona duljina (FRC), tjemena duljina (PAC), duljina velikog lubanjskog otvora (FOL) i širina velikog lubanjskog otvora (FOB). Od njih je najdimorfičnija mjera bila GOL s točnošću 73,7 % (90).

Mahakkanukrauh i suradnici su izradili diskriminantne funkcije za procjenu spola na 200 lubanja moderne tajlandske populacije. Šest kranijjskih mjera je pokazalo najizraženiji spolni dimorfizam s točnošću od 90,6 % (91).

Do sada je objavljen samo jedan rad u kojemu su primijenjene diskriminantne funkcije za procjenu spola na lubanji, tj. samo na dijelu lubanje (orbitama) na hrvatskoj suvremenoj populaciji. Istraživanje je provedeno na ukupno 414 CT snimaka glave i vrata (214 muškaraca i 200 žena). Točnost univarijantnih funkcija za procjenu spola kretala se od 53,43 % za visinu očne šupljine (OBH) do 71,88 % za biorbitalnu širinu (EKB), dok je za multivarijantnu funkciju točnost bila 73,54 % (uključene su mjere bimaksilarna širina, visina očne šupljine i biorbitalna širina). Mjerenja orbita na hrvatskoj suvremenoj populaciji pokazala su njihovo ograničeno forenzičko značenje za procjenu spola (45).

S obzirom na navedeno, a imajući u vidu populacijske specifičnosti mjera lubanje, bilo je nužno provesti istraživanje u kojemu bi se kreirale diskriminatne funkcije za procjenu spola suvremene hrvatske populacije koristeći se svim standardnim mjerama lubanje.

## **2. HIPOTEZA**

Kraniometrijske standardne mjere na MSCT snimkama kranija suvremene hrvatske populacije pokazat će spolni dimorfizam.

### **3. CILJEVI**

Opći cilj je izrada populacijsko specifičnih kranimetrijskih standarda za procjenu spola suvremene hrvatske populacije korištenjem MSCT snimaka i 3D modela.

Specifični ciljevi su:

1. Odrediti je li spolni dimorfizam pojedinih mjera statistički značajan.
2. Odrediti je li ukupni dimorfizam statistički značajan.
3. Formiranje virtualne baze MSCT snimaka i 3D modela.

## 4. MATERIJALI I METODE

### 4.1. Uzorak

Provedeno je retrospektivno istraživanje na ukupno 414 arhivskih CT snimki angiografije glave i vrata punoljetnih pacijenata. Iz arhive Kliničkog zavoda za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju KBC-a Zagreb, uzeto je 195 CT snimaka (98 odraslih muškaraca i 97 odraslih žena) snimljenih na CT uređaju Sensation AS128, Siemens AG Medical Solutions, Erlangen, Njemačka. Ukupno 219 CT snimaka (109 odraslih muškaraca i 110 odraslih žena) korišteno je iz arhive Kliničkog zavoda za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju KBC-a Split, koji su snimljeni na CT uređaju Definition Edge, Siemens AG Medical Solutions, Erlangen, Njemačka. Medijalna dob ispitanika iznosila je 64 godine (18 – 95). Isključni kriteriji su bili debljina slojeva veća od 1 mm te patološke i traumatske promjene lubanje koje bi mogle utjecati na mjerenje odnosno, postavljanje točaka.

### 4.2. Mjerenje

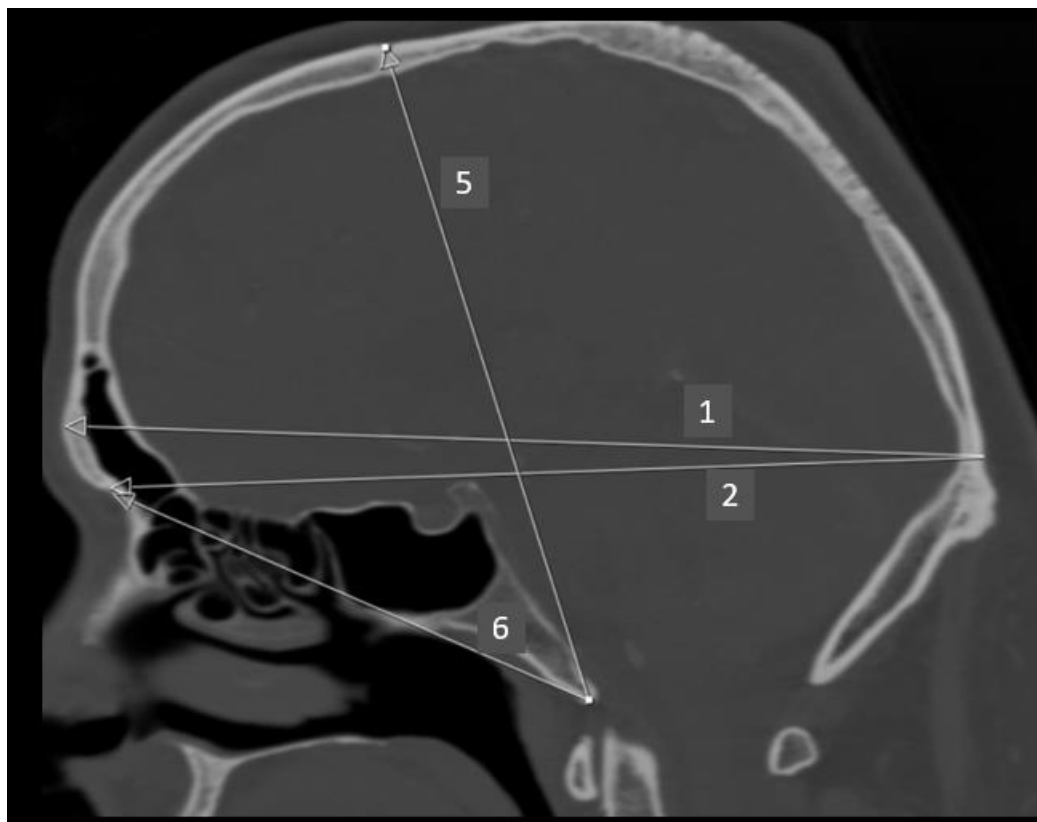
Standardne kranimetrijske mjere koje su korištene u ovom istraživanju su sljedeće (83):

1. najveća duljina lubanje (GOL) - udaljenost između točaka *glabella* (g) i *opisthocranion* (op) u središnjoj sagitalnoj ravnini
2. duljina *nasion* - *opisthocranion* (NOL) - udaljenost između točaka *nasion* (n) i *opisthocranion* (op) u središnjoj sagitalnoj ravnini
3. najveća širina lubanje (XCB) - najveća širina lubanje okomita na središnju sagitalnu ravninu, tj. udaljenost između točaka *euryon* (eu)
4. širina između jabučica (ZYB) - udaljenost između najlateralnijih točaka jagodičnih lukova, tj. udaljenost između točaka *zygion* (zy)
5. *basion* - *bregma* visina (BBH) - izravna udaljenost između točaka *basion* (ba) i *bregma* (b)
6. duljina baze lubanje (BNL) - udaljenost između točaka *basion* (ba) i *nasion* (n)
7. duljina *basion* - *prosthion* (BPL) - izravna udaljenost točaka *basion* (ba) i *prosthion* (pr)



8. maksilo - alveolarna širina (MAB) - najveća udaljenost između točaka *ectomolare* (ecm)
9. maksilo - alveolarna duljina (MAL) - udaljenost između točaka *prosthion* (pr) i *alveolon* (alv)
10. biaurikularna širina (AUB) - udaljenost između točaka *radiculare* (ra)
11. gornja visina lica (NPH) - udaljenost između točaka *nasion* (na) i *prosthion* (pr)
12. najmanja čeona širina (WFB) - udaljenost između točaka *frontotemporale* (ft)
13. gornja širina lica (UFBR) - udaljenost između točaka *frontomalare temporale* (fmt)
14. nosna visina (NLH) - udaljenost između točke *nasion* (na) i središnje točke linije koja povezuje najniže točke donjeg ruba nosnih ureza
15. nosna širina (NLB) - najveća širina nosnoga ureza
16. širina orbite (OBB) - udaljenost između točaka *dacryon* (d) i *ectoconchion* (ec) – parna mjera
17. visina orbite (OBH) - udaljenost između gornjih i donjih rubova orbita – parna mjera
18. biorbitalna širina (EKB) - udaljenost između dviju točaka *ectoconchion* (ec)
19. interorbitalna širina (DKB) - udaljenost između točaka *dacryon* (d)
20. duljina čela (FRC) - udaljenost između točke *nasion* (n) i točke *bregma* (b) u središnjoj sagitalnoj ravnini
21. duljina tjemena (PAC) - udaljenost između točaka *bregma* (b) i *lambda* (l) u središnjoj sagitalnoj ravnini
22. duljina zatiljka (OCC) - udaljenost između točaka *lambda* (l) i *opisthion* (o) u središnjoj sagitalnoj ravnini
23. duljina velikog lubanjskog otvora (FOL) - udaljenost između točaka *basion* (ba) i *opisthion* (o)
24. širina velikog lubanjskog otvora (FOB) – najveća udaljenost između postraničnih rubova velikoga lubanjskog otvora
25. visina mastoidnog nastavka (MDH) - udaljenost između točaka *porion* (po) i *mastoidale* (ms) – parna mjera
26. širina između asteriona (ASB) - pravocrtna udaljenost između lijeve i desne točke *asterion* (ast)
27. bimaksilarna širina (ZMB) - udaljenost između točaka *zygomaxillare anterior* (zma)
28. zygoorbitalna širina (ZOB) - udaljenost između točaka *zygoorbitale* (zo)

Slike 5. – 13. prikazi su kranimetrijskih mjera na MSCT slikama i 3D CT rekonstrukcijama glave.



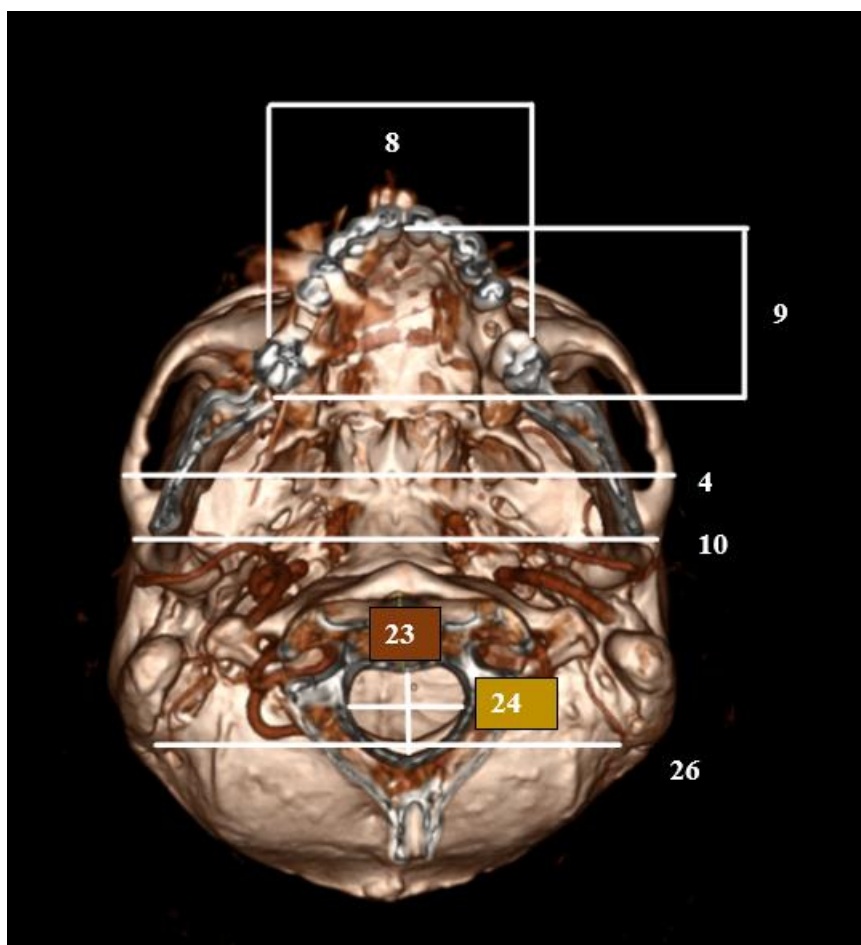
Slika 5. Na MSCT snimci glave (sagitalni presjek, koštani prozor) prikazane su sljedeće kranimetrijske mjere (83): 1 - najveća duljina lubanje, 2 - duljina *nasion – opisthocranium*, 5 – visina *basion – bregma*, 6 - duljina baze lubanje (iz vlastite arhive).



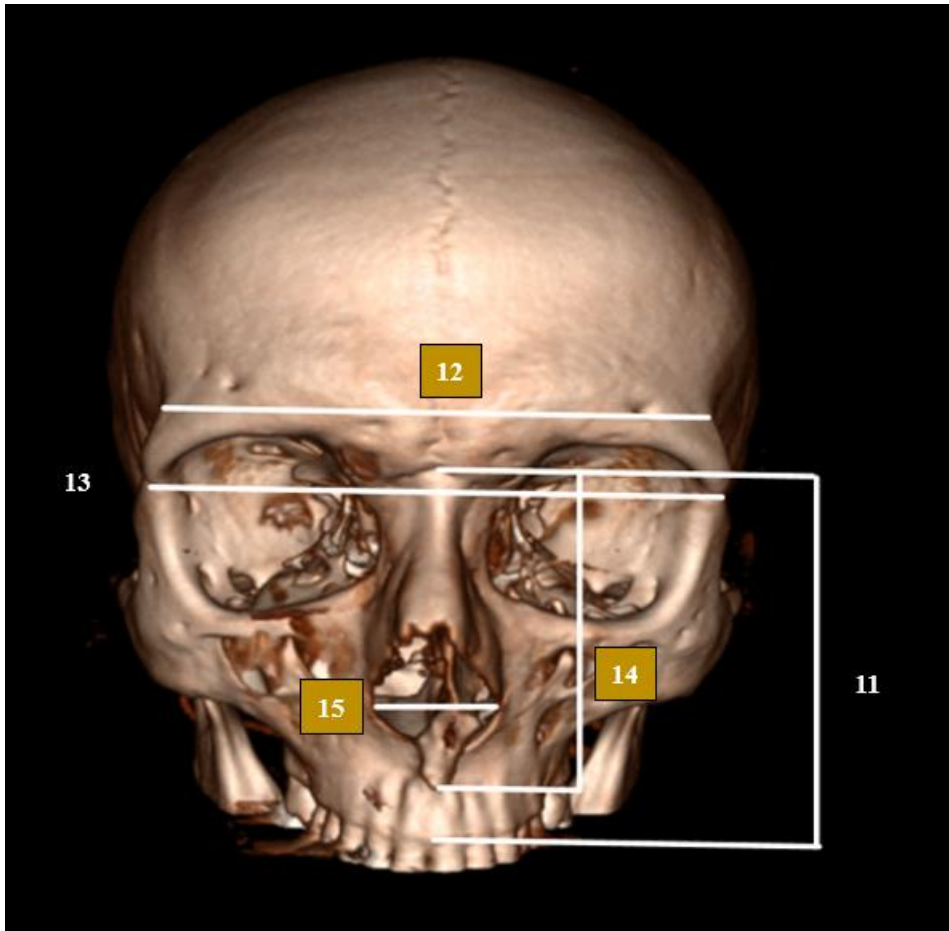
Slika 6. Na 3D CT rekonstrukciji lubanje označena je brojem 3 mjera najveća širina lubanje (83) (iz vlastite arhive).



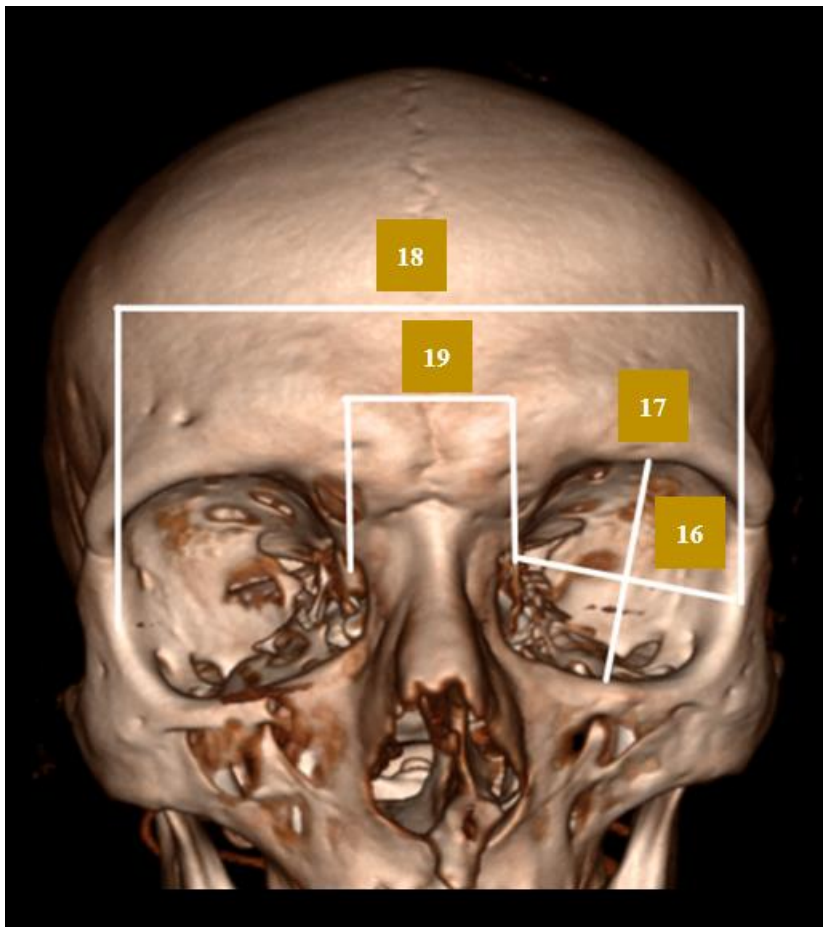
Slika 7. Na 3D CT rekonstrukciji lubanje označena je brojem 25 mjera visina mastoidnog nastavka (83) (iz vlastite arhive).



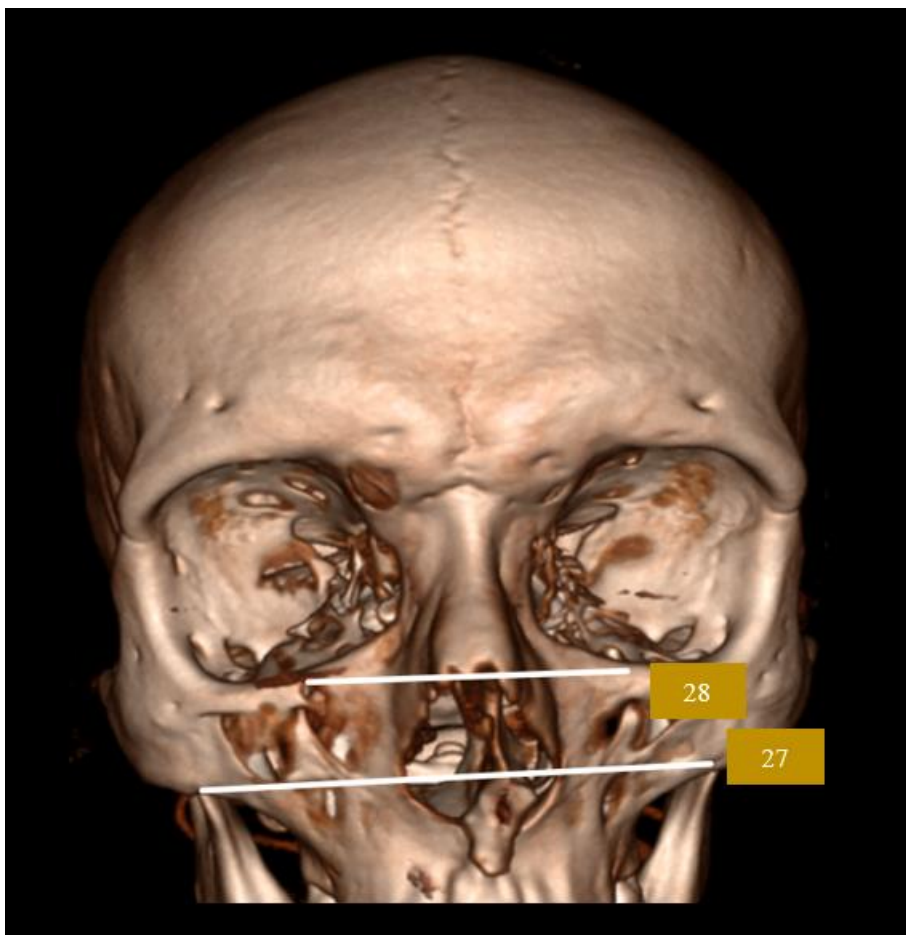
Slika 8. Na 3D CT rekonstrukciji lubanje označene su sljedeće kranimetrijske mjere (83): 4 – širina između jabučica, 8 – maksiloalveolarna širina, 9 – maksiloalveolarna duljina, 10 – biaurikularna širina, 23 – duljina velikog lubanjskog otvora, 24 – širina velikog lubanjskog otvora, 26 – širina između točaka *asterion* (iz vlastite arhive).



Slika 9. Na 3D CT rekonstrukciji lubanje označene su sljedeće kranimetrijske mjere (83): 12 – najmanja čeona širina, 13 – gornja širina lica, 11 – gornja visina lica, 14 – nosna visina; 15 – nosna širina (iz vlastite arhive).

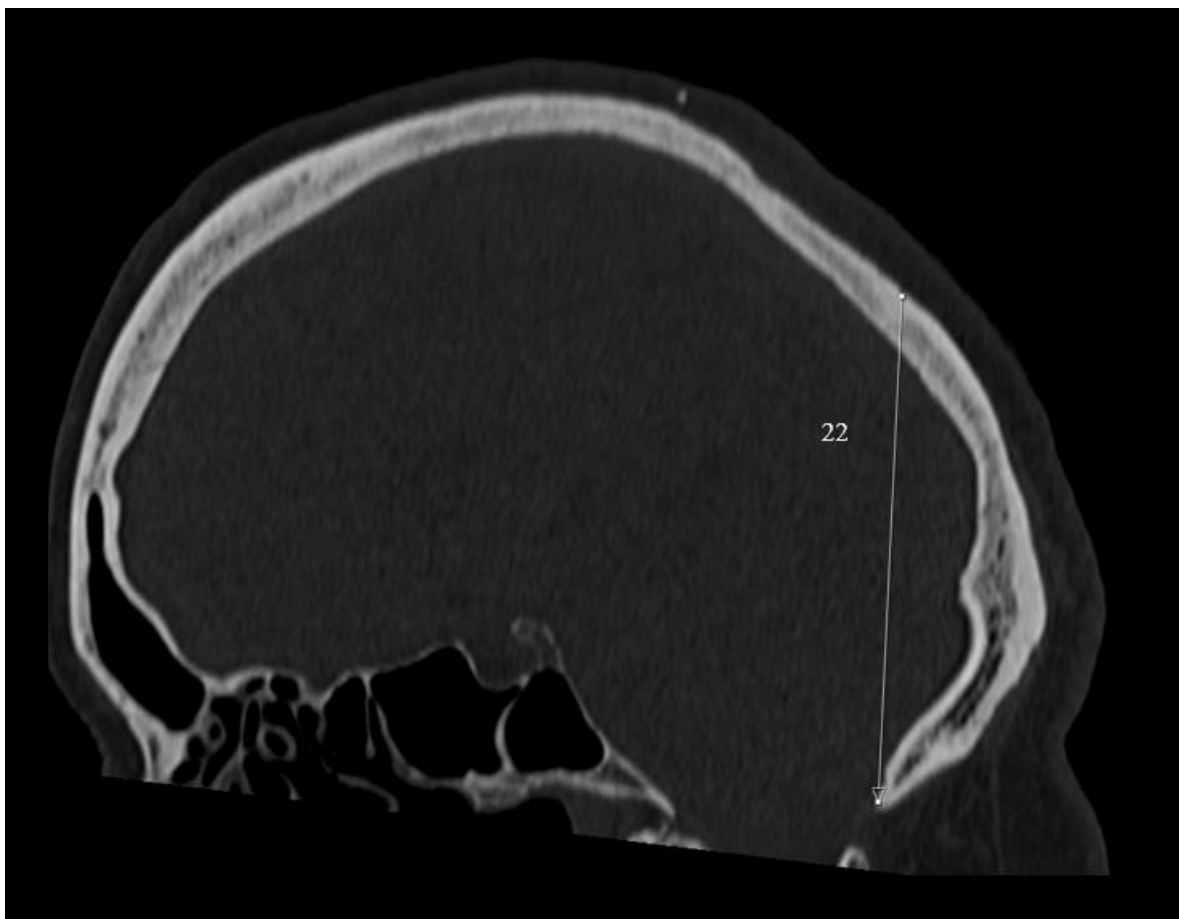


Slika 10. Na 3D CT rekonstrukciji lubanje označene su sljedeće kranimetrijske mjere (83): 18 – biorbitalna širina, 19 – interorbitalna širina, 17 – visina orbite, 16 – širina orbite (iz vlastite arhive).

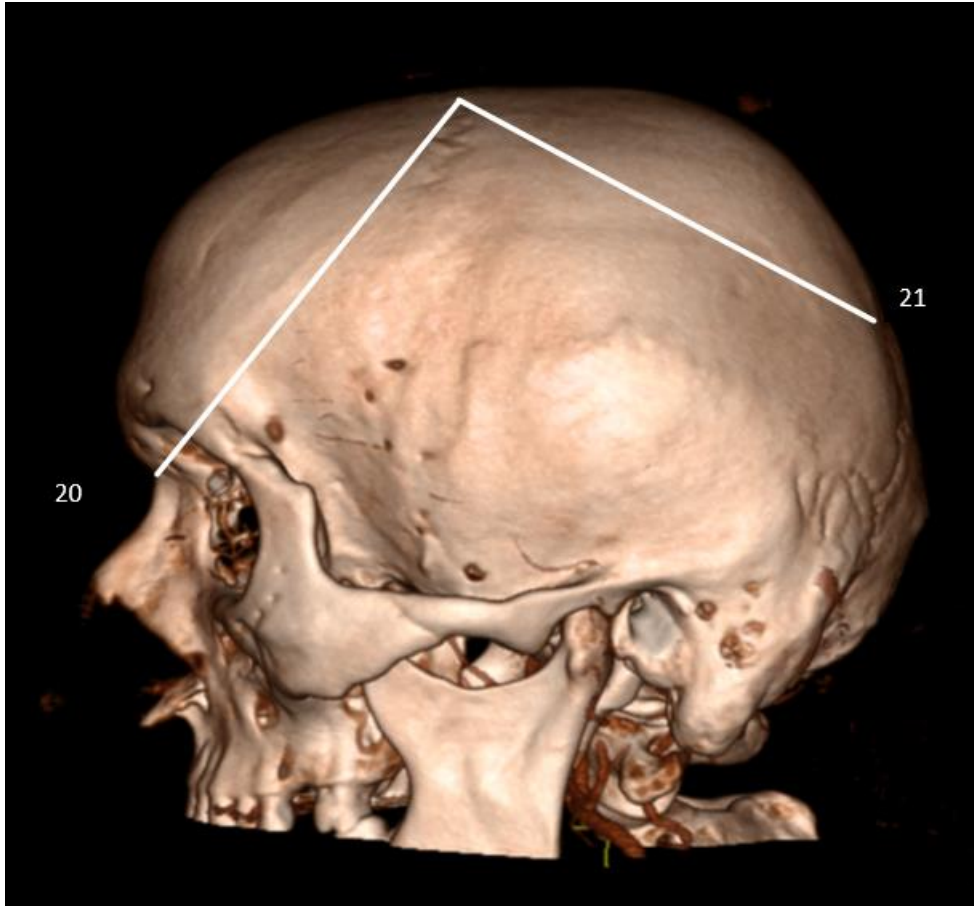


Slika 11. Na 3D CT rekonstrukciji lubanje označene su sljedeće kranimetrijske mjere (83): 28 – zygoorbitalna širina, 27 – bimaksilarna širina (iz vlastite arhive).





Slika 12. Na CT snimci glave (sagitalni presjek, koštani prozor) označena je brojem 22 kranimetrijska mjera duljina zatiljka (83) (iz vlastite arhive).



Slika 13. Na 3D CT rekonstrukciji lubanje označene su sljedeće kraniometrijske mjere (83): 20 – duljina čela, 21 – duljina tjemena (iz vlastite arhive).

DICOM datoteke dobivene CT pregledima učitane su u Stratovan Checkpoint softver verziju 2018.08.07 (Stratovan Corporation) (92). Učitane su rekonstrukcije u koštanom prozoru kako bi se na 2D (aksijalni, koronalni i sagitalni presjek) i 3D modelu lubanje pozicioniranjem anatomskih točki odredilo dvadeset i osam ranije opisanih standardnih forenzičkih mjera.

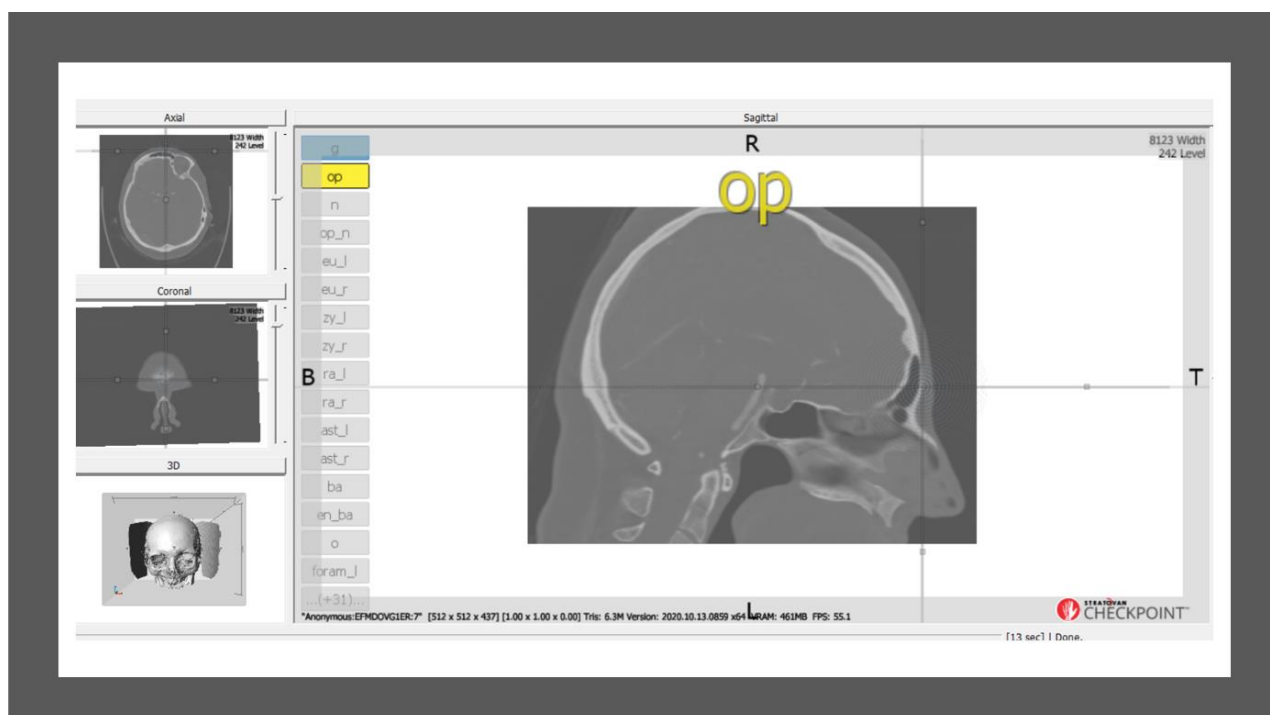
U svrhu bolje preciznosti i brzine rada prije svakog postupka mjerenja svih 414 lubanja na CT pregledima, učitani su predlošci s izmijenjenim redoslijedom točaka u usporedbi s literaturnim popisom točaka (83), kako bi se optimiziralo postavljanje točaka u istoj ravnini, odnosno pregledu (Tablica 1.).

Tablica 1. Prikaz predloška izmijenjenog redosljeda točaka po kojemu su rađena mjerenja u ovom istraživanju.

Kratica	Naziv/opis točke	Kratica	Naziv/opis točke
g	<i>glabela</i>	al_r	desna bočna granica nosnog otvora
op	<i>opisthocranion</i>	zma_l	lijeva <i>zygomaxillare anterior</i>
n	<i>nasion</i>	zma_r	desna <i>zygomaxillare anterior</i>
op_n	<i>opisthocranion</i> mjeren od točke nasion (u većini slučajeva na istoj poziciji kao op)	zo_l	lijeva <i>zygoorbitale</i>
eu_l	lijevi <i>euryon</i>	zo_r	desna <i>zygoorbitale</i>
eu_r	desni <i>euryon</i>	ftm_l	lijevi <i>frontomalare temporale</i>
zy_l	lijevi <i>zygion</i>	ftm_r	desni <i>frontomalare temporale</i>
zy_r	desni <i>zygion</i>	ft_l	lijevi <i>frontotemporale</i>
ra_l	lijevi <i>radiculare</i>	ft_r	desni <i>frontotemporale</i>
ra_r	desni <i>radiculare</i>	b	<i>bregma</i>
ast_l	lijevi <i>asterion</i>	l	<i>lambda</i>
ast_r	desni <i>asterion</i>	po_l	lijevi <i>porion</i>
ba	<i>basion</i>	ms_l	lijevi <i>mastoidale</i>
Eba	<i>endobasion</i>	po_r	desni <i>porion</i>
o	<i>opisthion</i>	ms_r	desni <i>mastoidale</i>
foram_l	lijeva bočna granica velikog lubanjskog otvora	d_l	lijevi <i>dacryon</i>
foram_r	desna bočna granica velikog lubanjskog otvora	ec_l	lijevi <i>ectoconchion</i>
alv	<i>alveolon</i>	orb_d_l	lijeva donja granica orbite
ecm_l	lijevi <i>ectomolare</i>	orb_u_l	lijeva gornja donja granica orbite
ecm_r	desni <i>ectomolare</i>	d_r	desni <i>dacryon</i>
pr	<i>prosthion</i>	ec_r	desni <i>ectoconchion</i>
ns_l	lijeva najniža granica nosnog otvora	orb_d_r	desna donja granica orbite
ns_r	lijeva najniža granica nosnog otvora	orb_u_r	desna gornja granica orbite
al_l	lijeva bočna granica nosnog otvora		

Za svaki CT pregled je prvo provjereno poravnanje u 2D presjecima te po potrebi modificirano u središnjoj sagitalnoj liniji te na koronalnim presjecima. Poravnanja su učinjena uzimajući u obzir liniju koja povezuje *protuberantia occipitalis interna* i središte *sella turcica* i *nasion* te liniju koja povezuje *meatus acusticus internus*.

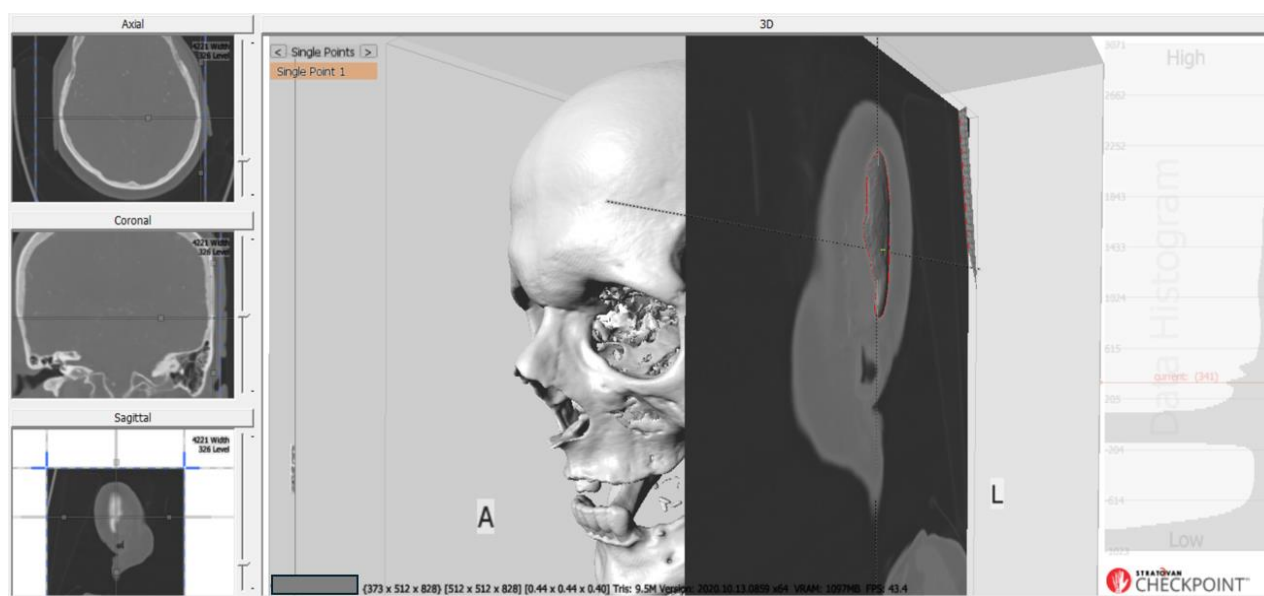
Točke u središnjoj sagitalnoj ravnini prvo su postavljene u sagitalnom presjeku, a njihov položaj je provjeren na drugim 2D rekonstrukcijama te na 3D modelu. Ovako su pozicionirane točke koje označuju *glabella* (g), *basion* (b), *nasion* (n), *opistochranion* (op), *opisthion* (o), *bregma* (b) *alveolon* (alv), i *lambda* (l) (Slika 14.).



Slika 14. Primjer pozicioniranja točke *opistochranion* na sagitalnom presjeku uz provjeru na ostalim 2D presjecima (aksijalnom i koronalnom) i 3D modelu.

*Endobasion* (Eba) je dodan kako bi odgovarao opisu duljine velikog lubanjskog otvora (FOL). Točke koje se pri tradicionalnom mjerenju instrumentalno određuju, (*euryon*, *zygion* i *ectomolare*) označene su na sljedeći način: na prikazu lubanje u 3D modelu sagitalna je ravnina pomicala u istom prozoru kako bi se našla točka u kojoj sagitalna ravnina najranije dolazi u kontakt s anatomskom točkom (npr. najlateralnija točka u središnjem sagitalnom presjeku).

Nakon toga aksijalna je ravnina pomicala kroz 3D model sve dok se nije prikazala ista ta točka. Na kraju je kontralateralna točka označena u paralelnoj ravnini na koronalnom presjeku (Slika 15.).



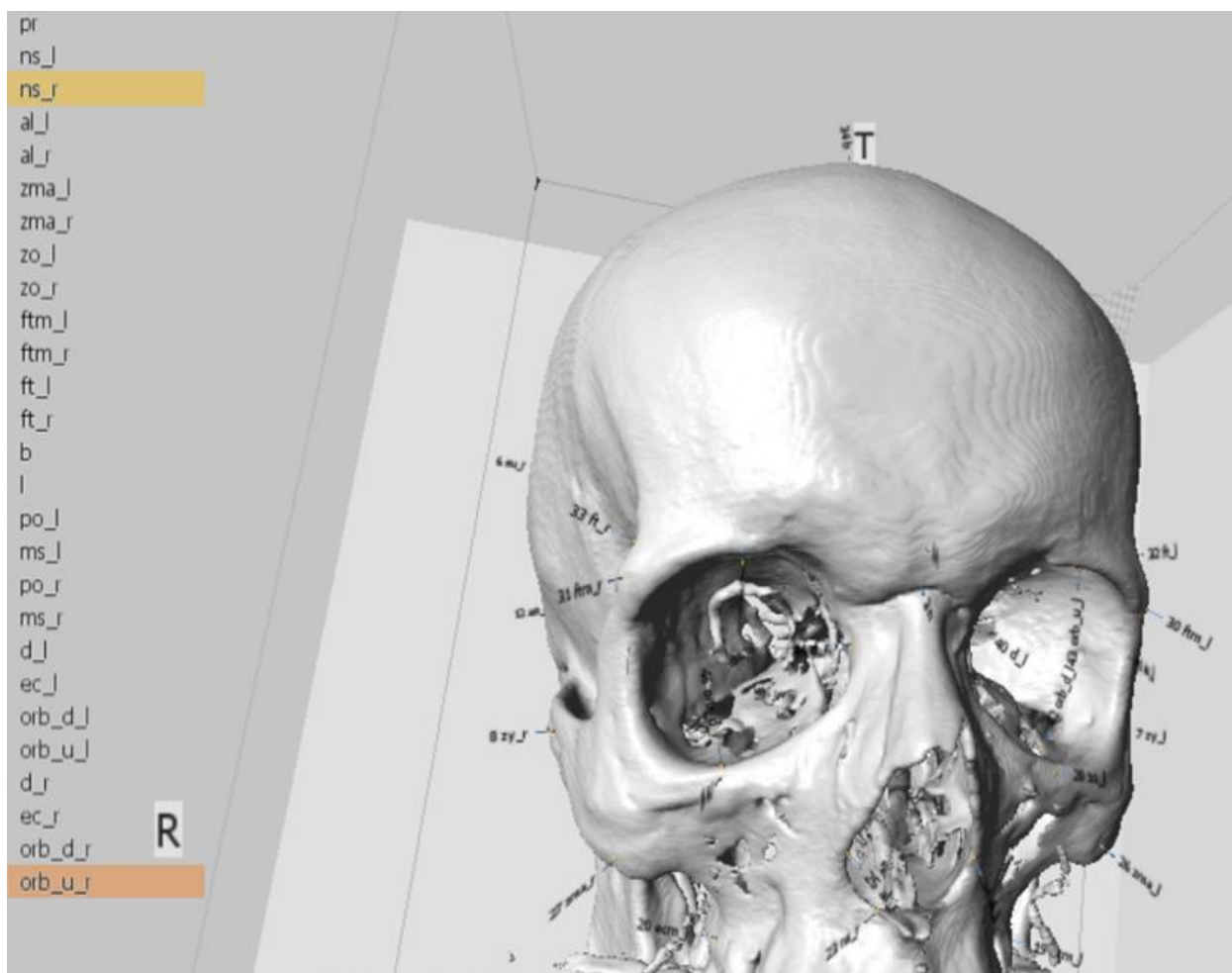
Slika 15. Primjer pozicioniranja točke *euryon* na 3D modelu uz provjeru na 2D modelima (aksijalnom i koronalnom presjeku).

Točno određeni obrazac rada uspostavljen je i za druge točke. Tako su točke *radiculare* (ra) postavljene na dva presjeka, aksijalnom i koronalnom. Budući da je *asterion* (ast) kompleksna anatomna struktura za označavanje, korištena su sva tri presjeka koja su se križala na 3D modelu u svrhu nalaženja zajedničke točke sjecišta sljepoočne, tjemene i zatiljne kosti, a *asterion* je sa svake strane označen na koronalnom presjeku. *Prosthion* (pr) je dodan na sagitalnom presjeku. Najniža točka na donjoj granici *apertura piriformis* označena je na 3D modelu, a pozicija je provjerena na sagitalnom presjeku. Neimenovane točke, koje definiraju širinu nosa, identificirane su pomicanjem aksijalnog presjeka kroz 3D model. Kad su detektirane najlateralnije točke, samo označavanje je provedeno na aksijalnom presjeku. Isti pristup rabljen je za definiranje granica velikog lubanjskog otvora. Točke koje su definirane zigomatikomaksilarnim šavovima, *zygomaxilare anterion* (zma) i *zygoorbitale* (zo) označene su na aksijalnom presjeku i istovremeno kontrolirane na 3D modelu. Točke *frontotemporale*

(ft) označene su na 3D modelu i kontrolirane u 2D presjecima. Za identifikaciju točke *porion* (po) sagitalni presjek je provučen kroz 3D model do razine kada je dosegnuta granica vanjskog slušnog hodnika. Tada je koronalni presjek pomican dok nije prikazana gornja točka i *porion* je označen na sagitalnom presjeku. *Mastoidale* (ms) je dodan tako da je najniža točka mastoidnog nastavka identificirana na aksijalnom presjeku, a potom je pozicija kontrolirana na sagitalnom i koronalnom presjeku. Za pronalazak *ectoconchion* (ec) aksijalni presjek je provučen kroz 3D model/koronalni presjek i rotiran dok presjek nije poravnat s gornjom granicom orbite. Aksijalni presjek je pomican kaudalno dok orbita nije podijeljena na dvije jednake polovice. Potom je točka *ectoconchion* pozicionirana na aksijalnom presjeku. Neimenovane točke na gornjoj i donjoj granici orbite označene su tako da je sagitalni presjek provlačen kroz 3D model dok orbita nije podijeljena na dvije jednake polovice (medijalnu i lateralnu). Točke su označene na sagitalnom presjeku.

Anatomske točke prikupljene na svakom CT pregledu (Slika 16.) izvezene su kao .nts datoteke i učitane u program R (verzija 3.6.2) i Rstudio (verzija 1.2.5033) koristeći se „geomorph“ paketom (93). Isti softver je korišten i za izračunavanje 31 interorijentirske duljine (troje kranjske mjere su parne) koje predstavljaju standardne kranjske mjere.

Zbog analize međumjeriteljske i unutarmjeriteljske pogreške, mjerenja su ponovljena na 35 uzoraka što pri umjerenom veličini uzorka ( $d = 0,5$ ) i  $\alpha = 0,05$  daje snagu od 0,80 kad se radi t – test za parne uzorke. Mjerenja su provodila dva neovisna istraživača.



Slika 16. 3D CT rekonstrukcija lubanje na kraju mjerenja s postavljenim svim orijentirima.



### 4.3. Statistička obrada

Ponovljivost mjerenja analizirana je pomoću tehničke pogreške mjerenja (TEM) i relativne tehničke pogreške mjerenja (rTEM):

$$TEM = \sqrt{\frac{\sum D^2}{2N}} \text{ (mm)}$$

D – razlika između dviju mjera

N – veličina uzorka

$$rTEM = \frac{TEM}{\tilde{x}} \times 100 \text{ (%)}$$

TEM – tehnička pogreška mjerenja izražena

$\tilde{x}$  – srednja vrijednost izmjerenih vrijednosti iz obaju krugova mjerenja

Kriteriji uključivanja mjera bili su sljedeći: za unutarmjeriteljske pogreške  $\leq 1,5 \%$ , za međumjeriteljsku pogrešku  $\leq 2 \%$  (94).

Vrijednosti koje su nedostajale upotpunjene su s pomoću paketa „mice“ (engl. Multivariate Imputation by Chained Equations) u programu R. U podatkovnom setu bilo je do 20,6 % nedostajućih vrijednosti kod pojedinih varijabli, odnosno 1,86 % nedostajućih podataka u ukupnome setu podataka. Stoga se koristila multivarijantna imputacija s pomoću lančanih jednadžbi koja je uključivala generiranje više imputiranih skupova podataka uz razmatranje spola i regionalne pripadnosti kako bi se očuvala stratifikacija.

Za redukciju dimenzionalnosti prostora provedena je analiza temeljnih sastavnica (engl. Principal Components Analysis – PCA) kako bi se na čitavom skupu podataka pregledalo postoje li pravilnosti povezane sa spolnim dimorfizmom, odnosno regionalnim specifičnostima. Na temelju Cattellova dijagrama odabran je broj temeljnih sastavnica te su one vizualizirane na dvodimenzijском grafikonu uz prikaz doprinosa određenih mjera

temeljnim sastavnicama. Analiza je provedena u programu R, u paketima „factorextra“ i „FactorMineR“. Nakon toga su analizirane razlike u mjerama lubanja muškaraca iz splitskog i zagrebačkog uzorka te razlike u mjerama lubanja žena iz splitskog i zagrebačkog uzorka. Ovisno o regiji i spolu izračunate su: srednja vrijednost, medijan, minimum i maksimum i standardna devijacija (SD). Potom je t-testom za neparne (nezavisne) uzorke ispitano postoji li statistički značajna razlika između regija. U daljnju su analizu uzete samo one koje nisu pokazale statistički značajnu razliku između regija. Analiza je provedena u programu R.

Spolni dimorfizam analiziran je tako što je za sve mjere uključene u istraživanje, zasebno za žene i muškarce, izračunata srednja vrijednost, medijan, minimum i maksimum te standardna devijacija (SD). Potom je t-testom za neparne (nezavisne) uzorke ispitano postoji li statistički značajna razlika između mjera muškaraca i žena. U daljnju su analizu uzete samo one koje su pokazale statistički značajnu razliku između spolova.

Razvijeni su klasifikacijski modeli za procjenu spola za pojedinačne mjere i kombinaciju mjera s pomoću linearne diskriminantne analize u programu IBM SPSS (verzija 22, SPSS Inc., Chicago, IL, SAD). Točnost procjene spola testirana je korištenjem modela križne validacije s izuzetkom jednog uzorka, a rezultati su prikazani zasebno za muškarce i žene. Diskriminantne funkcije izračunate su za sve pojedinačne mjere, za kombinaciju svih mjera i kombinaciju dobivenu postupnim odabirom varijabli (engl. stepwise analysis).

Razina statističke značajnosti postavljena je na  $P \leq 0,05$ .

#### **4.4. Etička odobrenja**

U ovom retrospektivnom istraživanju u svrhu izrade doktorske disertacije, nije prikazan ni jedan podatak koji bi otkrio identitet pacijenta. Disertacija je izrađena u sklopu uspostavnog projekta Hrvatske zaklade za znanost naziva Forenzička analiza ljudskih ostataka analizom MSCT snimaka (UIP-2020-02-7331), CTforID. Za projekt i za disertaciju su dobivena sljedeća odobrenja: odobrenje Etičkog povjerenstva KBC-a Zagreb (Klasa:8.1-21/216-3; Broj:02/21 AG.), KBC-a Split (Klasa: 500-03/17-01/56; Broj: 2181-147-01/06/M.S.-17-2) i Sveučilišnog odjela za forenzične znanosti Split (Klasa:024-04/17-03/00026; Broj:2181-227-05-12-17-0003).

## **5. REZULTATI**

### **5.1. Ponovljivost mjerenja**

Tablica 2. prikazuje rezultate ponovljivosti mjerenja za sve kranimetrijske mjere. Za unutarmjeriteljsku pogrešku rTEM je postavljen na 1,5 %, a za međumjeriteljsku pogrešku rTEM je postavljen na 2 % (94). Podebljane vrijednosti rTEM su za one mjere koje su iznad granice prihvatljivosti, shodno tomu sivom bojom su označene mjere koje su isključene iz daljnje analize. S obzirom na to da su sve parne mjere (OBB, OBH i MDH) isključene u ovome koraku analiza bilateralne asimetrije nije provedena.

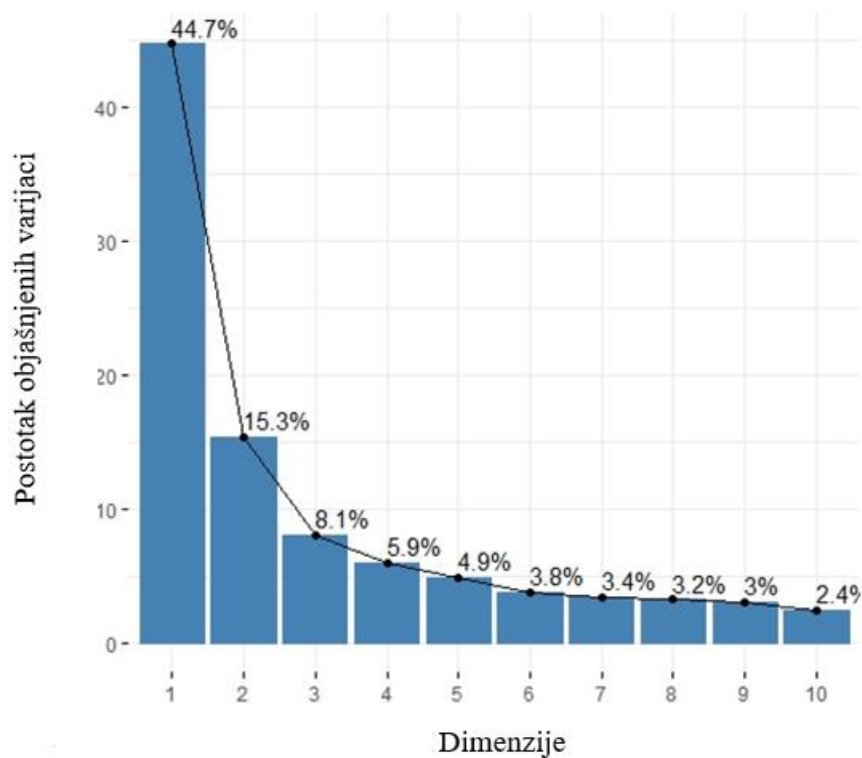
Tablica 2. Rezultati ponovljivosti mjerenja.

	<b>Unutarmjeriteljska pogreška</b>			
<b>Mjera</b>	TEM (mm)	rTEM (%)	t - test	p - vrijednost
GOL	1,15	0,64	1,379	0,177
NOL	0,63	0,35	-0,695	0,492
XCB	0,79	0,54	0,093	0,927
ZYB	0,56	0,42	1,277	0,210
BBH	0,44	0,32	1,629	0,113
BNL	0,37	0,35	-0,534	0,597
BPL	0,48	0,50	0,542	0,592
MAB	1,37	<b>2,21</b>	0,441	0,662
MAL	1,07	<b>1,98</b>	-1,840	0,075
AUB	1,26	0,98	2,560	0,015
NPH	0,86	1,24	-1,950	0,060
WFB	0,83	0,82	-2,183	0,036
UFBR	0,54	0,50	3,457	0,001
NLH	0,61	1,15	-3,541	0,001
NLB	0,52	<b>2,19</b>	-2,012	0,052
OBB (L)	0,77	<b>1,98</b>	-0,436	0,666
OBB (D)	0,91	<b>2,32</b>	-2,092	0,044
OBH (L)	0,47	1,39	0,746	0,461
OBH (D)	0,37	1,09	-1,604	0,118
EKB	0,44	0,44	-1,799	0,081
DKB	0,99	<b>3,89</b>	1,229	0,228
FRC	0,64	0,61	0,281	0,780
PAC	1,50	1,28	1,029	0,311
OCC	1,49	<b>1,55</b>	-0,654	0,518
FOL	0,60	<b>1,68</b>	-1,914	0,064
FOB	0,92	<b>2,98</b>	-3,014	0,005
MDH (L)	0,85	<b>2,73</b>	3,706	0,001
MDH (D)	0,93	<b>2,94</b>	2,477	0,019
ASB	1,71	1,47	-0,194	0,847
ZMB	1,22	1,33	-2,220	0,033
ZOB	4,68	<b>8,67</b>	-3,093	0,004
	<b>Medumjeriteljska pogreška</b>			
	TEM (mm)	rTEM (%)	t - test	p - vrijednost
GOL	0,36	0,99	0,571	0,572
NOL	1,05	0,58	-0,472	0,640
XCB	1,04	0,75	1,341	0,190
ZYB	0,85	0,66	-0,383	0,707
BBH	0,80	0,61	-4,215	< 0,001
BNL	0,97	0,98	1,957	0,060
BPL	1,02	1,07	-2,513	0,027

MAB	0,68	1,10	0,290	0,777
MAL	1,67	<b>3,10</b>	0,117	0,909
AUB	0,90	0,75	0,947	0,354
NPH	1,28	1,88	-0,285	0,780
WFB	1,31	1,37	5,580	< 0.001
UFBR	0,90	0,87	-2,835	0,009
NLH	1,00	2,00	3,135	0,004
NLB	0,69	<b>2,77</b>	0,570	0,573
OBB (L)	0,72	1,91	-1,584	0,130
OBB (D)	0,72	1,91	2,932	0,009
OBH (L)	0,69	<b>3,02</b>	3,539	0,001
OBH (D)	0,75	<b>2,34</b>	2,934	0,007
EKB	0,77	0,79	-4,734	< 0.001
DKB	0,81	<b>3,47</b>	2,698	0,0143
FRC	1,67	1,56	-5,343	< 0.001
PAC	2,12	1,81	7,165	< 0.001
OCC	1,89	<b>2,01</b>	-6,085	< 0.001
FOL	0,60	1,62	-2,270	0,031
FOB	1,11	<b>3,58</b>	2,312	0,028
MDH (L)	0,83	<b>2,68</b>	-0,486	0,631
MDH (D)	1,22	<b>3,87</b>	-0,205	0,839
ASB	1,00	0,91	-0,502	0,619
ZMB	1,42	1,55	0,546	0,592
ZOB	2,32	<b>4,17</b>	2,214	0,039

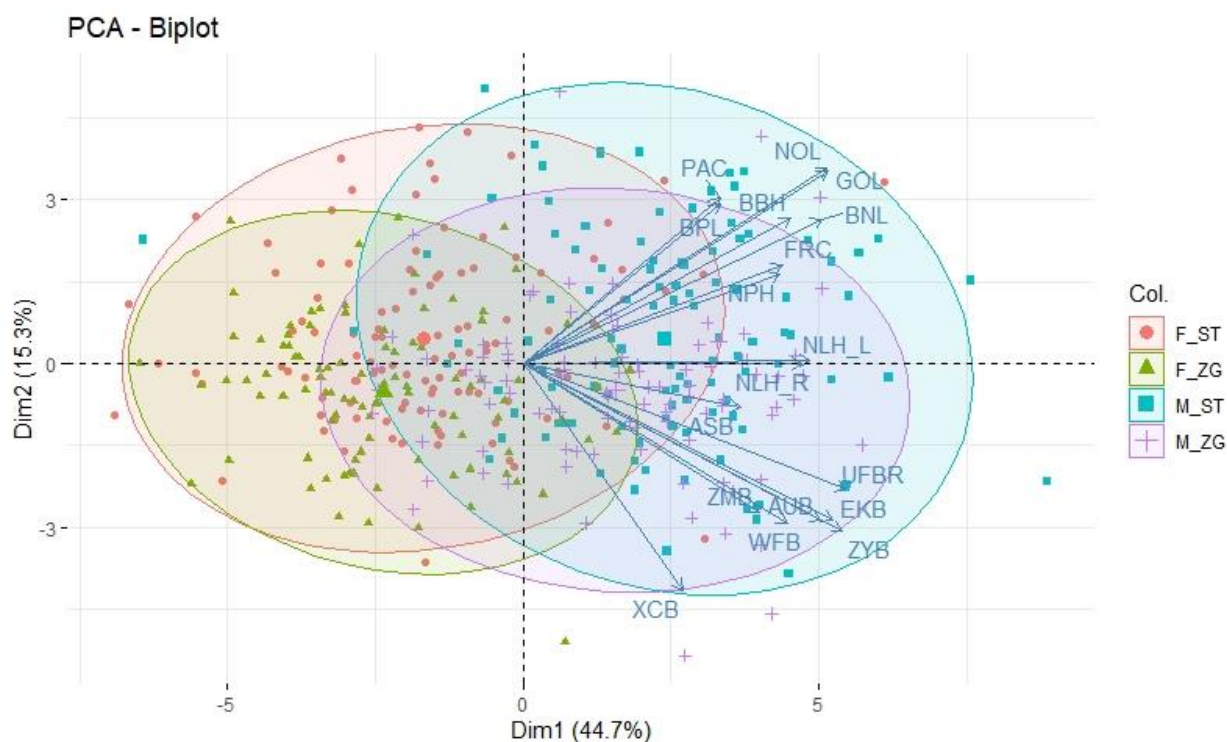
## 5.2. Eksploracijska analiza podataka

Slika 17. prikazuje način odabira temeljnih sastavnica metodom lakta (engl. elbow method). Vidljivo je da se prikazana krivulja izravnavava kod treće temeljne sastavnice te su stoga u daljnju analizu uvrštene prve dvije temeljne sastavnice koje objašnjavaju 60,02 % varijance.



Slika 17. Cattellov dijagram (engl. scree plot) za odabir temeljnih sastavnica.

Slika 18. prikazuje rezultate analize prve dvije temeljne sastavnice, a Tablica 3. doprinos pojedinih varijabli svakoj od sastavnica. Kao što je vidljivo na x- osi se prema desno povećavaju sve mjere, odnosno ukupne dimenzije lubanja, što razdvaja muškarce i žene. Na y – osi prema gore, povećavaju se mjere duljine i visine, a smanjuju mjere širine lubanje i lica. Vidljivo je kako su i muškarci i žene iz splitskoga uzorka pozicionirani i više desno (po x-osi) i više gore (po y- osi), što može upućivati na određene regionalne specifičnosti.



Slika 18. Rezultati analize temeljnih sastavnica.



Tablici 3. Doprinis mjera lubanje temeljnim sastavnicama.

<b>Mjera</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>
GOL	0,76	0,52
NOL	0,75	0,53
XCB	0,40	-0,61
ZYB	0,79	-0,45
BBH	0,66	0,39
BNL	0,74	0,39
BPL	0,49	0,43
AUB	0,74	-0,42
NPH	0,64	0,24
WFB	0,66	-0,43
UFBR	0,80	-0,34
NLH_L	0,71	0,01
NLH_R	0,69	0,00
EKB	0,77	-0,42
FRC	0,64	0,26
PAC	0,49	0,44
ASB	0,54	-0,12
ZMB	0,59	-0,40

### 5.3. Regionalne razlike

U Tablici 4. prikazane su regionalne razlike u kranimetrijskim mjerama između muškaraca u Splitu i muškaraca u Zagrebu. Sivom bojom su označene mjere koje su pokazale značajnu statističku razliku te su obzirom na navedeno, isključene iz daljnje analize.

Tablica 4. Regionalne razlike u kranimetrijskim mjerama između muškaraca.

Mjera	Split					Zagreb					t	P
	Srednja vrijednost	Medijan	SD	Min	Maks	Srednja vrijednost	Medijan	SD	Min	Maks		
GOL	187,66	189,71	8,42	171,44	205,41	181,87	182,53	6,83	168,11	198,40	5,460	P < 0,001*
NOL	184,78	185,90	8,26	167,72	202,74	179,03	179,11	6,58	165,71	195,79	5,565	P < 0,001*
XCB	146,48	146,12	6,67	133,09	161,30	150,74	150,75	6,04	134,18	164,15	-4,812	P < 0,001*
ZYB	136,77	137,03	5,68	117,36	151,36	136,81	136,41	4,69	124,88	149,48	-0,060	0,952
BBH	142,18	142,27	5,37	126,31	155,62	140,31	140,65	5,61	126,13	153,87	2,453	0,015*
BNL	109,05	109,33	5,02	97,00	122,53	106,24	105,60	4,58	95,85	118,81	4,213	P < 0,001*
BPL	95,76	96,81	7,10	77,90	115,82	93,12	92,81	7,16	77,90	109,15	2,658	0,008*
AUB	131,02	130,60	5,31	114,21	142,85	130,84	130,64	4,95	117,76	144,33	0,261	0,794
NPH	70,29	70,82	5,69	55,57	85,90	68,61	69,13	4,81	58,37	76,20	2,302	0,022*
WFB	101,00	100,85	4,42	88,69	114,79	101,59	102,18	4,35	90,84	110,50	-0,977	0,330
UFR	108,56	109,14	4,66	93,90	120,85	107,59	107,53	3,89	98,85	116,91	1,633	0,104
NLH	54,39	54,33	3,14	43,84	66,12	54,22	54,20	2,47	47,47	59,61	0,439	0,661
EKB	101,77	102,14	4,18	86,21	114,75	101,48	101,62	3,47	94,87	109,66	0,551	0,582
FRC	114,31	114,17	5,03	97,65	127,47	111,54	111,62	5,56	98,65	128,18	3,751	P < 0,001*
PAC	118,54	118,98	7,58	99,02	138,77	118,20	118,30	6,52	101,29	134,66	0,352	0,725
ASB	118,90	119,04	4,37	105,41	127,80	118,30	118,42	5,52	106,55	134,54	0,861	0,390
ZMB	94,61	94,31	5,50	81,39	112,33	93,27	93,36	5,13	74,87	106,35	1,805	0,072

\* Statistički značajno sa  $P < 0,05$

U Tablici 5. prikazane su regionalne razlike u kranimetrijskim mjerama između žena u Splitu i žena u Zagrebu. Sivom bojom su označene mjere koje su pokazale značajnu statističku razliku te su obzirom na navedeno, isključene iz daljnje analize.

Tablica 5. Regionalne razlike u kranimetrijskim mjerama između žena.

Mjera	Split					Zagreb					t	P
	Srednja vrijednost	Medijan	SD	Min	Maks	Srednja vrijednost	Medijan	SD	Min	Maks		
GOL	177,08	176,93	8,16	156,58	205,69	172,31	171,33	6,11	159,22	189,59	4,799	P < 0,001*
NOL	175,18	174,86	7,95	156,32	201,48	171,00	170,30	6,00	157,81	188,04	4,294	P < 0,001*
XCB	142,74	142,48	5,67	128,49	154,50	145,46	145,29	5,58	126,99	158,14	-3,475	0,001*
ZYB	127,74	128,22	4,16	116,66	136,55	128,55	128,57	4,24	117,72	140,47	-1,379	0,169
BBH	135,28	135,24	5,82	121,24	154,74	133,21	133,61	5,12	116,79	146,27	2,725	0,007*
BNL	101,91	102,02	4,85	91,05	120,46	99,96	99,73	4,37	89,40	116,16	3,052	0,003*
BPL	91,00	91,12	5,78	77,90	104,64	88,16	88,90	6,20	77,90	102,14	3,390	0,001*
AUB	123,77	124,09	4,26	112,87	135,25	124,13	124,05	4,59	113,44	134,88	-0,587	0,558
NPH	65,76	66,10	4,84	55,12	83,45	64,06	64,57	4,34	53,84	73,99	2,673	0,008*
WFB	98,00	97,82	4,31	86,48	112,74	98,12	98,23	4,00	86,71	107,78	-0,212	0,832
UFB R	103,33	103,61	4,02	93,47	117,27	103,07	102,79	3,74	93,77	115,38	0,474	0,636
NLH	51,69	51,41	2,74	46,45	58,02	51,18	51,42	2,63	45,90	56,66	1,371	0,172
EKB	97,56	98,08	3,66	89,49	109,10	97,51	97,62	3,55	88,04	107,33	0,100	0,920
FRC	108,81	108,84	5,29	97,40	127,45	106,17	105,83	4,99	96,29	117,66	3,697	P < 0,001*
PAC	114,35	113,92	7,38	96,52	135,52	111,50	112,22	5,65	97,80	124,40	3,132	0,002*
ASB	114,20	114,17	4,31	101,28	125,73	115,51	115,32	5,04	103,85	128,77	-2,004	0,047*
ZMB	89,66	89,64	4,87	74,95	103,53	89,68	89,35	4,48	81,03	101,87	-0,021	0,983

\* Statistički značajno sa  $P < 0,05$

## 5.4. Spolni dimorfizam

U Tablici 6. nalaze se kranimetrijske mjere koje su pokazale statistički značajni spolni dimorfizam, a zadovoljile su kriterije ponovljivosti te nisu pokazale regionalne razlike.

Tablica 6. Kranimetrijske mjere koje su pokazale statistički značajan spolni dimorfizam.

Mjera	Muškarci					Srednja vrijednost	Žene					t	P
	Srednja vrijednost	Medijan	SD	Min	Maks		Medijan	SD	Min	Maks			
<b>ZYB</b>	136,79	136,75	5,22	117,36	151,36	128,12	128,28	4,21	116,66	140,47	-18,593	P < 0,001	
<b>AUB</b>	130,93	130,60	5,13	114,21	144,33	123,94	124,08	4,41	112,87	135,25	-14,871	P < 0,001	
<b>WFB</b>	101,28	101,57	4,39	88,69	114,79	98,06	98,07	4,16	86,48	112,74	-7,675	P < 0,001	
<b>UFBR</b>	108,10	108,41	4,33	93,90	120,85	103,21	103,34	3,88	93,47	117,27	-12,108	P < 0,001	
<b>NLH</b>	54,59	54,50	2,88	45,02	67,97	51,45	51,22	2,64	45,37	58,69	-11,593	P < 0,001	
<b>EKB</b>	101,63	101,83	3,86	86,21	114,75	97,54	97,84	3,60	88,04	109,10	-11,160	P < 0,001	
<b>ZMB</b>	93,97	93,85	5,36	74,87	112,33	89,67	89,51	4,68	74,95	103,53	-8,707	P < 0,001	

\* Statistički značajno sa  $P < 0,05$

## 5.5. Procjena spola

Za sve mjere navedene u Tablici 6. izrađene su diskriminantne funkcije za procjenu spola te su prikazane u Tablici 7. Najtočnija pojedinačna mjera je ZYB (širina između jabučica). Raspon ukupne točnosti klasifikacije za pojedinačne mjere je 66,7 % - 84,3 %. Točnost klasifikacije za kombinacije mjera je 86,2 % i 85,5 %.

Tablica 7. Diskriminantne funkcije za procjenu spola.

Mjera	Diskriminantna funkcija*	Granična vrijednost	Točnost klasifikacije M %	Točnost klasifikacije Ž %	Ukupno** %
ZYB	0,211 x ZYB - 27,926	132,45	82,1	86,5	84,3
AUB	0,209 x AUB - 26,626	127,44	74,9	77,3	76,1
WFB	0,234 x WFB - 23,321	99,67	66,2	67,1	66,7
UFBR	0,243 x UFBR - 25,701	105,65	69,6	75,8	72,7
NLH	0,362 x NLH - 19,201	53,02	70,5	72,9	71,7
EKB	0,268 x EKB - 26,690	99,58	70,5	72,5	71,5
ZMB	0,199 x ZMB - 18,254	91,82	64,7	69,1	66,9
KOMBINACIJA MJERA 1	ZYB x 0,220 - AUB x 0,014 - WFB x 0,077 + UFBR x 0,144 + NLH x 0,121 - EKB x 0,118 - ZMB x 0,028 - 26,954	/	84,1	88,4	86,2
KOMBINACIJA MJERA 2	ZYB x 0,128 - WFB x 0,075 + UFBR x 0,138 + NLH x 0,119 - EKB x 0,121 - 27,513	/	82,1	86	85,5

\* Ako je dobivena vrijednost veća od jedan, riječ je o muškarcu, a ako je manja od jedan, riječ je o ženi.

\*\*Točnost klasifikacije na križno vrednovanom uzorku.

## 6. RASPRAVA

Doprinos ovoga rada je u činjenici da je ovo prvo istraživanje spolnoga dimorfizma kranija u suvremenoj hrvatskoj populaciji koje je uključilo sve kranimetrijske standardne mjere.

### 6.1. Ponovljivost mjerenja

U ovome istraživanju unutarmjeriteljska pogreška bila je veća od prihvatljivoga prema trenutno važećim standardima (94) za mjere: maksilo - alveolarna širina (MAB), maksilo - alveolarna duljina (MAL), duljina baze lubanje (NLB), širina očne šupljine lijevo (OBB\_L), širina očne šupljine desno (OBB\_D), interorbitalna širina (DKB), zatiljna duljina (OCC), duljina velikog lubanjskog otvora (FOL), širina velikog lubanjskog otvora (FOB), visina mastoidnog nastavka lijevo (MDH\_L), širina mastoidnog nastavka desno (MDH\_D) i zygoorbitalna širina (ZOB). Najveće rTEM vrijednosti bile su za mjere ZOB (8,67 %) i DKB (3,89 %). Izvjesni razlog ovako velikoj unutarmjeriteljskoj pogrešci za mjeru ZOB otežana je identifikacija zygoorbitalne točke (točke u kojoj zigomaksilarni šav siječe donji orbitalni rub) na MSCT snimkama. Također je otežana vizualizacija točke *dacryon* na MSCT snimkama, što je uzrok pogreške za mjeru DKB i za mjeru OBB. Nedosljedno označivanje točke *opisthion* (točke na sredini stražnjega dijela ruba velikog lubanjskog otvora na zatiljnoj kosti) mogući je uzrok visoke unutarmjeriteljske pogreške za mjere OCC i FOL. Rezultati ovoga istraživanja usporedivi su s rezultatima koje su Jerković i suradnici dobili u svom radu iz 2022. godine, u kojemu je unutarmjeriteljska pogreška veća od prihvatljivog za mjere (na MSCT snimkama) širine velikog lubanjskog otvora (FOB), zygoorbitalne širine (ZOB), širine očne šupljine (OBB), interorbitalne širine (DKB), visine mastoidnog nastavka (MDH), visine očne šupljine (OBH) i duljine baze lubanje (NLB) (57). I druga ranija istraživanja podupiru rezultate ovoga istraživanja, na primjer Kranioti i suradnici su između dvanaest kranijskih varijabli analiziranih na CT snimkama imali unutarmjeriteljsku pogrešku iznad 1,5 % za mjere OBB, OBH, DKB i FOB (95).

Većina mjerenja, koja su pokazala nešto veću međumjeriteljsku pogrešku ( $rTEM > 2\%$ ), bila su ona ranije identificirana za unutarmjeriteljsku pogrešku. Radi se o sljedećim mjerama: maksilo - alveolarna duljina (MAL), visina očne šupljine (OBH), interorbitalna širina (DKB),

zatiļna duljina (OCC), űirina velikog lubanjskog otvora (FOB), visina mastoidnog nastavka (MDH) i zygoorbitalna űirina (ZOB). Dakle, od sedam mjera koje su imale neűto veću međumjeriteljsku pogrešku, tri se odnose na orbitalne mjere (ZOB s rTEM 4.17 %, DKB s rTEM 3.47 % i OBH s rTEM 3.2 %). Najveći utjecaj na ovakve rezultate ima nedosljednost u pronalaženju točke *dacryon*. Simmons-Ehrhardt i suradnici također su u istraűivanju naveli nemogućnost lokaliziranja točke *dacryon* na MSCT snimkama, űto podupire rezultate ovog istraűivanja (96). Mogući potencijalni doprinos velikoj unutarmjeriteljskoj i međumjeriteljskoj pogreűci je i ažurirana definicija točke *ectoconchion* koja zahtijeva praćenje gornje granice orbite dok se ne pronađe točka na bočnoj granici orbite koja orbitu dijeli na jednake dijelove. S obzirom na navedeno, bilo bi uputno razmotriti mogućnost modificiranja takvih točaka i shodno tomu mjera. Primjerice, umjesto praćenja gornje granice orbite, na aksijalnom presjeku bi se moglo pomicati kroz orbitu dok se orbita ne podijeli na dvije jednake polovice. Tada bi se mogli postaviti orijentiri koji bi bili provjereni na sagitalnom i koronalnom presjeku (57). Visina mastoidnog nastavka (MDH) imala je drugi najveći rTEM od 3.87 % za međumjeriteljsku pogrešku. Također je i unutarmjeriteljska pogreška bila neűto viűa. I ranija istraűivanja su mjeru MDH identificirala kao problematičnu s visokom nedosljednošću pri mjerenju, zato su Langley i suradnici predložili novu definiciju mjerenja (96). Međutim, dodatna istraűivanja su pokazala da i stare i nove definicije mjerenja i dalje imaju dosta visoku mjeriteljsku pogrešku (97).

## 6.2. Regionalne razlike dobivene u rezultatima i njihov utjecaj

Pri statističkoj obradi podataka, primijećene su statistički značajne razlike pojedinih mjera lubanje između žena iz Splita i Zagreba, kao i između muškaraca iz Splita i Zagreba.

Kod žena se radi o sljedećim mjerama: najveća duljina lubanje (GOL), duljina *nasion – opisthocranion* (NOL), najveća širina lubanje (XCB), visina *basion – bregma* (BBH), duljina baze lubanje (BNL), duljina *basion – prosthion* (BPL), gornja visina lica (NPH), čeona duljina (FRC), tjemena duljina (PAC) i širina između asterion (ASB). Sve mjere su veće kod žena iz Splita, osim najveće širine lubanje i širine između *asterion* (*asterion* je točka na spoju lambdoidnoga, parijetomastoidnoga i okcipitomastoidnoga šava), što bi značilo da žene u Zagrebu u odnosu na žene u Splitu, imaju širu i kraću lubanju.

Kod muškaraca statistički značajne razlike su bile u sljedećim kranijalnim mjerama: najveća duljina lubanje (GOL), duljina *nasion – opisthocranion* (NOL), najveća širina lubanje (XCB), visina *basion – bregma* (BBH), duljina baze lubanje (BNL), duljina *basion – prosthion* (BPL), gornja visina lica (NPH) i čeona duljina (FRC). Slično kao u ženskoj populaciji i kod muškaraca iz Splita su sve mjere lubanje bile veće, osim najveće širine lubanje. Slijedom navedenoga moguće je zaključiti da su lubanje kod muškaraca iz Zagreba šire i kraće nego lubanje kod muškaraca iz Splita. Razvidno je da žene i muškarci iz Zagreba imaju sličan oblik lubanje (širi i kraći), ali je razlika u odnosu na žene i muškarce iz Splita čije su lubanje duže i uže. Do sada nije provedeno istraživanje spolnoga dimorfizma svih standardnih kranijalnih mjera lubanje suvremene hrvatske populacije tako da se ovakvi rezultati regionalnih razlika ne mogu direktno uspoređivati. Međutim, ovo je otkriće u skladu s interpopulacijskim razlikama u orbitalnoj regiji suvremene hrvatske populacije koju su u svom istraživanju pokazali Krešić i suradnici (45), kao i rezultatima istraživanja na nekoliko kranijalnih mjerenja na koštanim ostatcima iz srednjovjekovnih hrvatskih groblja, gdje su primijećene moguće razlike kontinentalnih i primorskih populacija. U tom istraživanju kranijalna mjerenja na koštanim ostatcima populacijskih skupina s istočnih dijelova Hrvatske, pokazivala su razlike u odnosu populacijske skupine s primorskih lokacija. No analizom mitohondrijskog DNK-a, nije dokazana razlika u majčinskom nasljeđivanju unutar hrvatskih populacijskih skupina, ali važno je napomenuti da je tu bila riječ o samo jednome genskom markeru (98).

Ovakve rezultate nije moguće u potpunosti objasniti jer je lubanjska plastičnost bila predmet mnogih studija no, bez unisonog zaključka o izvoru lubanjske varijacije. Sparks i Jantz su



zaključili da je glavni izvor lubanjske varijacije ipak genetska predispozicija, a ne utjecaj okoline (99).

### **6.3. Mjere koje su pokazale spolni dimorfizam**

Od dvadeset i osam analiziranih kranimetrijskih mjera, sedam je zadovoljilo kriterije ponovljivosti i nije pokazalo regionalne razlike, a statistički su bile značajno spolno dimorfične. Spomenutih sedam mjera su: širina između jabučica (ZYB), biaurikularna širina (AUB), najmanja čeona visina (WFB), gornja širina lica (UFBR), visina nosa (NLH), biorbitalna širina (EKB) i bimaksilarna širina (ZMB). Većina je ovih mjera pokazala spolni dimorfizam i u drugim populacijama. Tako je širina između jabučica visoko spolno dimorfična u južnoindijskoj populaciji (100), zapadnoaustralskoj (101), sjevernoindijskoj (102), južnoafričkoj crnačkoj (103), krećanskoj (104), turskoj (105), japanskoj (84) i talijanskoj (106).

Zanimljivo je da najmanja čeona visina u talijanskoj populaciji nije pokazala spolni dimorfizam, ali je u sjevernoindijskoj, južnoafričkoj crnačkoj, krećanskoj i turskoj, dok u ostalim gore navedenim populacijama nije obrađivana. Mogući razlog što mjera najmanja čeona visina u talijanskoj populaciji nije pokazala spolni dimorfizam jest u tome da je istraživanje rađeno na relativno malenom uzorku (ukupno 80 lubanja, 40 muškaraca i 40 žena).

U Tablici 8. prikazana je usporedba ostalih pet kranijjskih mjera (AUB, UFBR, NLH, ZMB i EKB) koje su bile spolno dimorfične u ovom istraživanju u odnosu na populacije navedene u gornjem tekstu.

Tablica 8. Usporedba spolnog dimorfizma pet kranijjskih mjera u različitim populacijama.

	AUB	UFBR	NLH	ZMB	EKB
suvremena hrvatska populacija	+	+	+	+	+
sjevernoindijska populacija (102)	x	x	+	x	+
južnoindijska populacija (100)	+	+	+	x	+
zapadnoaustralska populacija (101)	+	x	+	+	x
krećanska populacija (104)	x	+	+	x	+
turska populacija (105)	x	x	x	x	+
japanska populacija (84)	x	+	x	x	x
talijanska populacija (106)	+	x	+	x	+
južnoafrička crnačka populacija (103)	x	+	+	x	x

+ dimorfične mjere; x neocijenjene mjere

Također je zanimljiva činjenica da je mjera najveće duljine lubanje (GOL) u hrvatskoj populaciji pokazala statistički značajnu regionalnu razliku te je iz toga razloga isključena iz daljnje analize, a u ostalim populacijama, (izuzev sjevernoindijske gdje nije ocijenjena) pokazala je značajni spolni dimorfizam. Međutim, treba uzeti u obzir da u navedenim istraživanjima nije analizirano eventualno postojanje unutarpopulacijskih regionalnih razlika, što je nedostatak u odnosu na ovo istraživanje.

Za sedam kranimetrijskih mjera koje su bile statistički značajno spolno dimorfične izrađene su diskriminantne funkcije za procjenu spola. Najbolja pojedinačna mjera je širina između jabučica s ukupnom točnošću od 84,3 % (82,1 % muškaraca je točno klasificirano i 86,5 % žena je točno klasificirano). I u drugim populacijama je izrađena diskriminantna funkcija za procjenu spola za mjeru širine između jabučica. Primjer je turska populacija u kojoj je postotak za muškarce sličan rezultatu ovoga istraživanja (83 % naspram 82,1 %), dok je za žene točnost bila nešto niža (77 % naspram 86,5 %) (107). U brazilskoj populaciji postotak ukupne točnosti

je niži nego u ovom istraživanju (75 % naspram 84,3 %) (107). Ni u jednoj populaciji nije dobivena zamjetno veća točnost diskriminantne funkcije za pojedinačnu mjeru ZYB.

Osim diskriminantnih funkcija za procjenu spola na pojedinačnim mjerama, izrađene su diskriminantne funkcije za procjenu spola za dvije kombinacije mjera koje su pokazale veći postotak točnosti u odnosu na pojedinačne mjere. Kombinacija mjera 1 ( $ZYB \times 0,220 - AUB \times 0,014 - WFB \times 0,077 + UFBR \times 0,144 + NLH \times 0,121 - EKB \times 0,118 - ZMB \times 0,028 - 26,954$ ) s točnošću od 86,2 % te kombinacija mjera 2 ( $ZYB \times 0,128 - WFB \times 0,075 + UFBR \times 0,138 + NLH \times 0,119 - EKB \times 0,121 - 27,513$ ) s točnošću od 85,5 %. Ni u jednom dosadašnjem istraživanju spolnoga dimorfizma drugih populacija svijeta nije izrađena diskriminantna funkcija za ovakvu kombinaciju kranijjskih mjera te shodno tomu, izravna usporedba točnosti nije moguća. Jedino što se može indirektno uspoređivati je postotak točnosti kombinacije mjera iz ovoga istraživanja i kombinacije različitih mjera iz drugih populacija. Pa je tako u talijanskoj populaciji točnost za njihovu kombinaciju mjera nešto viša nego u ovom istraživanju i iznosi 88,6 % (kombinacija mjera GOL, BBH, BNL, ZYB i NHL) (106). U turskoj populaciji je njihova kombinacija mjera također nešto viša i iznosi 87 – 87,5 % (kombinacija mjera GOL, ZYB, BBH, BNL) (105). U južnoafričkoj crnačkoj populaciji kombinacija njihovih mjera je niža nego u ovom istraživanju i iznosi 80,8 % (kombinacija mjera GOL, BBH, ZYB, NLH) (103). Iz navedenoga je razvidno da je točnost diskriminantne funkcije za procjenu spola kombinacijom mjera kranijuma za suvremenu hrvatsku populaciju bez zamjetne razlike usporedivo s točnošću diskriminantnih funkcija za procjenu spola kombinacijom različitih mjera drugih populacija.

U budućim istraživanjima spolnoga dimorfizma lubanje postoji dosta mjesta za napredak, u smislu izračunavanja svih mogućih mjera lubanje iz kranijjskih točaka ne samo standardnih kranimetrijskih mjera, promjena opisa onih točaka koje predstavljaju izazov u točnom označavanju (posebno na CT pregledima), razvijanje aplikacija za procjenu spola te primjene drugačijih statističkih metoda.

#### **6.4. Formiranje virtualne baze MSCT snimaka i 3D modela**

U sklopu projekta Forenzička analiza ljudskih ostataka analizom MSCT snimaka te za potrebe izrade ove disertacije formirana je virtualna baza MSCT snimaka i 3D modela koja može poslužiti kao baza za iduća istraživanja. Kao što je ranije u disertaciji navedeno virtualne zbirke nadomještaju nedostatke koštanih zbirke te omogućuju razvoj istraživanja.

## 7. ZAKLJUČAK

Mjerenjem i statističkom obradom standardnih kranimetrijskih mjera na MSCT snimkama kranija suvremene hrvatske populacije, dobiveno je ukupno sedam mjera koje su pokazale statistički značajan spolni dimorfizam i nisu imale statistički značajne regionalne unutarpopulacijske razlike te su primjenjive u forenzičkim slučajevima. U pitanju su sljedeće mjere: širina između jabučica (ZYB), biaurikularna širina (AUB), najmanja čeona visina (WFB), gornja širina lica (UFBR), visina nosa (NLH), biorbitalna širina (EKB) i bimaksilarna širina (ZMB). Za sve navedene mjere izrađene su pojedinačne diskriminantne funkcije za procjenu spola čija ukupna točnost varira od 84,3 % za mjeru ZYB do 66,7 % za mjeru WFB. Također su izrađene i diskriminantne funkcije za dvije kombinacije mjera čija je ukupna točnost 86,2 % i 85,5 %. Prikazani postotci točnosti pokazuju da su standardne mjere kranija ograničeno primjenjive za procjenu spolnoga dimorfizma te da u idućim istraživanjima treba analizirati sve moguće mjere koje se mogu dobiti iz točaka kranija, a ne samo standardne mjere.

U sklopu ovog istraživanja formirana je virtualna baza MSCT snimaka i 3D modela glave koja može biti podloga za daljnja istraživanja.

## 8. SAŽETAK

### Uvod:

Forenzička antropologija je primijenjena grana biološke antropologije koja s pomoću bioantropoloških metoda rekonstruira događaje i identificira sudionike u sklopu sudskih i/ili policijskih istraga. Osnovni korak u identifikaciji je procjena spola, koja se na kostima može učiniti morfološki, osteometrijski i analizom DNK-a. Nedostatak morfološke procjene spola je u tome što ovisi o iskustvu osobe koja vrši procjenu. DNK analiza također ima svoja ograničenja poput kontaminacije uzoraka, invazivnosti u smislu daljnjeg oštećenja kolekcije uzimanjem uzoraka za analizu te visoke cijene postupka. Osteometrijske metode su populacijski specifične, te je za svaku populaciju potrebno izraditi standarde. U prošlosti su koštane zbirke bile jedini izvor forenzičko antropoloških mjerenja. Nedostaci koštanih zbirki su ograničeni broj dostupnih koštanih ostataka koji su očuvani u optimalnoj mjeri za daljnje proučavanje. Isto tako, mnogim ostacima nije moguće procijeniti spol, najčešće zbog nedovoljne očuvanosti uslijed tafonomskih promjena. Vremenom su slikovne metode, korištene u radiologiji svakodnevno (poput MSCT-a) postale važan dio forenzičke antropologije. Razvojem softvera za MSCT, postalo je moguće dobiti trodimenzionalni model čime nastaje pojam virtualne antropologije. U ovoj disertaciji je upravo pomoću MSCT-a i virtualne antropologije po prvi puta ustanovljeno koje standardne kranimetrijske mjere su spolno dimorfične i u kojoj mjeri za suvremenu hrvatsku populaciju.

### Materijali i metode:

Provedeno je retrospektivno istraživanje na ukupno 414 arhivskih CT snimki angiografije glave i vrata punoljetnih pacijenata (98 odraslih muškaraca i 97 odraslih žena iz KBC-a Zagreb i 109 odraslih muškaraca i 110 odraslih žena iz KBC-a Split). Isključni kriteriji su bili debljina slojeva veća od 1 mm te patološke i traumatske promjene lubanje koje bi mogle utjecati na mjerenje, odnosno postavljanje točaka. DICOM podatci dobiveni CT pregledima importirani su u Stratovan Checkpoint softver u kojemu su učitane rekonstrukcije u koštanom prozoru kako bi se na 2D (aksijalni, koronalni i sagitalni presjek) i 3D modelu lubanje pozicioniranjem anatomskih točki izmjerilo dvadeset i osam standardnih forenzičkih mjera.

U svrhu bolje preciznosti i brzine rada prije svakog postupka mjerenja svih 414 lubanja na CT pregledima, učitani su predlošci s izmijenjenim redoslijedom točaka u usporedbi s literaturnim popisom točaka kako bi se optimiziralo postavljanje točaka u istoj ravnini odnosno pregledu.

Anatomske točke prikupljene na svakom CT pregledu izvezene su kao .nts datoteke i učitane u R (verzija 3.6.2) i Rstudio (verzija 1.2.5033) koristeći se „geomorph“ paketom. Isti softver je korišten i za izračunavanje interorijentirskih duljina koje predstavljaju standardne kranijске mjere. Zbog međumjeriteljske i unutarmjeriteljske pogreške, mjerenja su ponovljena na 35 uzoraka. Učinjena je statistička obrada podataka te izvedene diskriminantne funkcijske jednadžbe za procjenu spola, za pojedinačne mjere koje su pokazale statistički značajni spolni dimorfizam te za njihove kombinacije.

### **Rezultati:**

Analizom dobivenih podataka ustanovljene su regionalne razlike u određenim kranimetrijskim mjerama između žena iz Splita i Zagreba i između muškaraca iz Splita i Zagreba. Žene i muškarci iz Zagreba imaju kraću i širu lubanju u odnosu na žensku i mušku populaciju iz Splita. Određene kranimetrijske mjere su imale nešto višu unutarmjeriteljsku i međumjeriteljsku pogrešku te su isključene iz daljnje analize. Ukupno sedam kranimetrijskih mjera (širina između jabučica, biaurikularna širina, najmanja čeona visina, gornja širina lica, visina nosa, biorbitalna širina i bimaksilarna širina) zadovoljile su kriterije ponovljivosti i nisu pokazale regionalne razlike, a pokazale su statistički značajni spolni dimorfizam. Za sve navedene mjere izrađene su pojedinačne diskriminantne funkcije za procjenu spola čija ukupna točnost varira od 84,3 % za mjeru širina između jabučica do 66,7 % za mjeru najmanja čeona širina. Također su izrađene i diskriminantne funkcije za dvije kombinacije mjera čija je ukupna točnost 86,2 % i 85,5 %.

### **Zaključak:**

Sedam kranimetrijskih mjera je pokazalo statistički značajan spolni dimorfizam u suvremenoj hrvatskoj populaciji te su primjenjive u forenzičkim slučajevima. Izrađene su diskriminantne funkcije procjene spola za svaku pojedinačnu mjeru te za dvije kombinacije mjera. Rezultati

pokazuju da su standardne mjere kranija ograničeno primjenjive za procjenu spolnoga dimorfizma te potrebu da se u budućim istraživanjima analiziraju sve moguće mjere koje se mogu dobiti iz točaka kranija, a ne samo standardne kraniometrijske mjere.



## **9. SUMMARY**

**Title:**

**Craniometric analysis of sexual dimorphism of the modern Croatian population using MSCT**

**Author:**

**Elvira Krešić (2024.)**

Forensic anthropology is a subfield of biological anthropology that utilizes bioanthropological methods to reconstruct events and identify participants in legal and/or police investigations. The initial step in identification involves assessing the sex, which can be done morphologically, osteometrically, and through DNA analysis on bones. Osteometric methods are population specific, requiring standards for each population. There is no research on sexual dimorphism in cranial features (all standard craniometric measurements) in the contemporary Croatian population. This retrospective study aimed to investigate cranial sexual dimorphism in the contemporary Croatian population using MSCT. Analysis of the obtained data revealed regional differences in certain craniometric measurements between women from Split and Zagreb, as well as between men from Split and Zagreb. The female and male population from Zagreb exhibited shorter and wider skulls compared to the female and male population from Split. Some craniometric measurements had unacceptably high intra- and inter-observer errors and were excluded from further analysis. A total of seven craniometric measurements (ZYB, AUB, WFB, UFBR, NLH, EKB, ZMB) met repeatability criteria, showed no regional differences, and demonstrated statistically significant dimorphism. We developed nine linear discriminant models for sex estimation, seven univariate and two multivariate using stepwise analysis.

## 10. POPIS LITERATURE

1. Struna: Hrvatsko strukovno nazivlje [Internet]. Hrvatski institut za jezik i jezikoslovlje 2011 – forenzička antropologija; [pristupljeno 12.01.2024.]. Dostupno na: <http://struna.ihjj.hr/naziv/forenzicka-antropologija/23309/#naziv>
2. Ubelaker DH. A history of forensic anthropology. *Am J Phys Anthropol.* 2018; 165: 915–923.
3. Stewart TD, George A. Dorsey's Role in the Luetgert case: A significant episode in the history of forensic anthropology. *Journal of Forensic Science.* 1978; 23:786–791.
4. Shapiro HL. "Earnest Albert Hooton 1887-1954". *American Anthropologist.* 1954; 56 (6): 1081–1084.
5. Šlaus M. Bioarheologija. Zagreb: Školska knjiga; 2006.
6. Cobb WM. "Thomas Wingate Todd, M.B., Ch.B., F.R.C.S. (Eng.), 1885-1938". *Journal of the National Medical Association.* 1959; 51 (3): 233–246.
7. Snow CC. "Forensic anthropology". *Annual Review of Anthropology.* 1982;11: 97–131.
8. Trotter M, Gleser GC. "Estimation of Stature from Long Bones of American Whites and Negroes". *American Journal of Physical Anthropology.* 1952;10(4):463-514.
9. Brothwell DR. *Digging up bones: the excavation, treatment, and study of human skeletal remains.* Cornell University Press; 1981.
10. Correia PM. Fire modification of bone: a review of the literature. *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains.* 1997; 275-293.
11. Sjøvold T. Estimation of stature from long bones utilizing the line of organic correlation. *Human evolution.* 1990;5, 431-447.
12. Auerbach BM, Ruff CB. Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *Journal of human evolution.* 2006; 50(2), 203-218.
13. De Mendonça MC. Estimation of height from the length of long bones in a Portuguese adult population. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists.* 2000; 112(1), 39-48.
14. Rudan P, Tucak A. Nastanak i razvoj Zavoda za biološku antropologiju Medicinskoga fakulteta Osijek *Med Vjesnik.* 2012; 44(1-4): 59-68.
15. Petaros A, Čengija M, Bosnar A. Primjena i uloga osteologije u praksi: forenzična antropologija. *Medicina Fluminensis.* 2010;46(1):19-28.

16. Šlaus M, Bedić Z, Strinović D, Petrovečki V. Sex determination by discriminant function analysis of the tibia for contemporary Croats. *Forensic Sci Int.* 2013;226(1-3):302.e1-4.
17. Andelinović S, Sutlović D, Erceg Ivkosić I, Skaro V, Ivkosić A, Paić F i sur. Twelve-year experience in identification of skeletal remains from mass graves. *Croat Med J.* 2005;46(4):530-9.
18. Primorac D, Andelinovic S, Definis-Gojanovic M, Drmic I, Rezic B, Baden MM i sur. Identification of war victims from mass graves in Croatia, Bosnia, and Herzegovina by use of standard forensic methods and DNA typing. *J Forensic Sci.* 1996;41(5):891-4.
19. Ekštajn H, Kružić I, Bašić Ž. Forensic investigation of a mass grave at Ovčara, near Vukovar, of victims killed by the Serbian army in 1991. *ST-OPEN.* 2021;2: e2021.2013.35.
20. Sveučilišni odjel za forezične znanosti, Sveučilište u Splitu. [pristupljeno 15.01.2024.]. Dostupno na: <https://forenzika.unist.hr/>
21. Ubelaker DH. Recent advances in forensic anthropology. *Forensic Sci Res.* 2018; 4;3(4):275-277.
22. Baker L. Biomolecular applications. In: Blau S, Ubelaker DH, editors. *Handbook of forensic anthropology and archaeology.* 2. izd. New York: Routledge; 2016. p. 416–429.
23. De Boer HH, Blau S, Delabarde T, Hackman L. The role of forensic anthropology in disaster victim identification (DVI): recent developments and future prospects. *Forensic Sci Res.* 2018;2;4(4):303-315.
24. Ubelaker DH, Shamlou A, Kunkle A. Contributions of forensic anthropology to positive scientific identification: a critical Review. *Forensic Sci Res.* 2018;8;4(1):45-50.
25. Dedouit F, Yen K, Heinze S. *Forensic Imaging: A Practical Guide.* New York;Springer-Verlag;2022.
26. Garvin HM, Dunn R, Sholts SB, Litten MS, Mohamed M, Kuttickat N i sur. *Forensic Tools for Species Identification of Skeletal Remains: Metrics, Statistics, and OsteoID.* Biology (Basel). 2021;25;11(1):25.
27. Struna: Hrvatsko strukovno nazivlje [Internet]. Hrvatski institut za jezik i jezikoslovlje 2011 – individualizacija; [pristupljeno 15.01.2024.]. Dostupno na: <http://struna.ihjj.hr/naziv/individualizacija/44185/#naziv>
28. Struna: Hrvatsko strukovno nazivlje [Internet]. Hrvatski institut za jezik i jezikoslovlje 2011 – identifikacija; [pristupljeno 15.01.2024.]. Dostupno na: <http://struna.ihjj.hr/naziv/identifikacija/44189/#naziv>

29. Byers SN. Introduction to Forensic Anthropology. 3. izd. Edition. Boston: Pearson Education, 2008.
30. White TD, Folkens PA. The human bone manual. USA: Elsevier Academic Press, 2005.
31. Krogman WM, Iscan MY. The human skeleton in forensic medicine. 2. izd. Edition. Springfield: CC Thomas Publisher, 1986.
32. Buikstra JE, Ubelaker DH. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains. Fayetteville: Arkansas Archaeological Survey Press, 1994.
33. Işcan MY, Kedici PS. Sexual variation in bucco-lingual dimensions in Turkish dentition. *Forensic Sci Int.* 2003;137: 160-4.
34. Celbis O, Iscan MY, Soysal Z, Cagdir S. Sexual diagnosis of the glabellar region. *Leg Med (Tokyo).* 2001;3:162-70.
35. Giles E, Elliot O. Sex determination by discriminant function analysis of crania. *Am J Phys Anthropol.* 1963;21: 53-68.
36. Jantz RL, Kimmerle EH, Baraybar JP. Sexing and stature estimation criteria for Balkan populations. *J Forensic Sci.* 2008;53:601-5.
37. Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G. Sex determination from the distal part of the femur in a French contemporary population. *Forensic Sci Int.* 2008;175: 113-7.
38. Celbis O, Agritmis H. Estimation of stature and determination of sex from radial and ulnar bone lengths in a Turkish corpse sample. *Forensic Sci Int.* 2006;158:135-9.
39. Nagesh KR, Kanchan T, Bastia BK. Sexual dimorphism of acetabulum-pubis index in South-Indian population. *Leg Med (Tokyo).* 2007;9:305-8.
40. Franklin D, Freedman L, Milne N. Sexual dimorphism and discriminant function sexing in indigenous South African crania. *Homo.* 2005;55:213-28.
41. Asala SA, Bidmos MA, Dayal MR. Discriminant function sexing of fragmentary femur of South African blacks. *Forensic Sci Int.* 2004;145:25-9.
42. Slaus M, Strinović D, Skavić J, Petrovečki V. Discriminant function sexing of fragmentary and complete femora: standards for contemporary Croatia. *J Forensic Sci.* 2003;48:509-12.
43. Kotěrová A, Velemínská J, Dupej J, Brzobohatá H, Pilný A, Brůžek J. Disregarding population specificity: its influence on the sex assessment methods from the tibia. *International journal of legal medicine.* 2017;131, 251-261.

44. Cuzzullin MC, Curate, F, Freire AR, Costa ST, Prado FB, Daruge Junior E i sur. Validation of anthropological measures of the human femur for sex estimation in Brazilians. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2022; 54(1), 61-74.
45. Krešić E, Bašić Ž, Jerković I, Kružić I, Čavka M, Erjavec I. Sex estimation using orbital measurements in the Croatian population. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2022; 1-7.
46. Bašić Ž, Anterić I, Vilović K, Petaros A, Bosnar A, Madžar T i sur. Sex determination in skeletal remains from the medieval Eastern Adriatic coast–discriminant function analysis of humeri. *Croatian medical journal*. 2013;54(3), 272-278.
47. Ubelaker DH. *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation*. Washington DC: Taraxacum. 1989;63.
48. Brooks S, Suchey JM. Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Acsadi-Nemeskeri and Suchey-Brooks methods. *Human Evolut Ser*.1990;5:227-38.
49. İşcan MY, Loth SR, Wright RK. Age estimation from the rib by phase analysis: white males. *J. Forensic Sci*. 1984; 29:4:1094–1104.
50. Mann RW, Jantz RL. Maxillary suture obliteration: Aging the human skeleton based on intact or fragmentary maxilla. *J Forensic Sci*. 1988;32:148-57.
51. White TD, Black MT, Folkens PA. *Human Osteology*. 3rd edition. Massachusetts: Academic Press;2011.
52. Meindl RS, Lovejoy CO. Ectocranial suture closure: a revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *Am J Phys Anthropol*. 1985;68(1):57-66.
53. Campanacho V, Alves Cardoso F, Ubelaker DH. Documented Skeletal Collections and Their Importance in Forensic Anthropology in the United States. *Forensic. Sci*. 2021;1, 228–239.
54. Forensic Anthropology Society of Europe [Internet]. 2024 – Osteological collections; [pristupljeno 15.1.2024.]. Dostupno na: <https://forensicanthropology.eu/osteological-collections/>

55. Petaros A, Caplova Z, Verna E, Adalian P, Baccino E, De Boer H i sur. Technical Note: The Forensic Anthropology Society of Europe (FASE) Map of Identified Osteological collections, *Forensic Science International*, Volume 328, 2021,110995,ISSN 0379-0738.
56. Villa C, Buckberry J, Lynnerup N. Evaluating osteological ageing from digital data. *J Anat.* 2019;235(2):386-395.
57. Jerković I, Bašić Ž, Bareša T, Krešić E, Hadžić A A, Dolić K i sur. The repeatability of standard cranial measurements on dry bones and MSCT images. *Journal of Forensic Sciences.* 2022;67(5), 1938-1947.
58. Badam RK, Sownetha T, Babu DB, Waghray S, Reddy L, Garlapati K i sur. Virtopsy: Touch-free autopsy. *J Forensic Dent Sci* 2017;9:42.
59. Villa C, Buckberry J, Lynnerup N. Evaluating osteological aging from digital data. *J Anat.* 2019;235(2):386-395.
60. Smithsonian 3D Digitization [Internet]. Hominin Fossils 2024; [pristupljeno 13.1.2024.]. Dostupno na: <https://3d.si.edu/collections/hominin-fossils>
61. University of Bradford [Internet]. From Cemetery to Clinic 2024; [pristupljeno 12.1.2024.]. Dostupno na: <https://www.bradford.ac.uk/archaeological-forensic-sciences/facilities/barc/barc-projects/>
62. Terrie Simmons-Ehrhardt. Open osteology: Medical imaging databases as skeletal collections,*Forensic Imaging*,Volume 26,2021.
63. Meindl RS, Lovejoy CO, Mensforth RP, Don Carlos L. Accuracy and direction of error in the sexing of the skeleton: implications for paleodemography. *Am J Phys. Anthropol.* 1985;68(1):79-85.
64. Krogman WM, Iscan MY. *The Human Skeleton in Forensic Medicine.* Michigan: Thomas, CC;1986.
65. Bass WM. *Human Osteology.* 4. izd.: Missouri: Missouri Archeological Society;1995.
66. Bruzek J, Murail P. *Methodology and Reliability of Seks Determination From the Skeleton.* New York: Human Press;2006.
67. Bidmos MA, Gibbon VE, Strkalj G. Recent Advances in Seks Identification of Human Skeletal Remains in South Africa. *S Afr J Sci.*2010;106(11-12):29-34.
68. Iscan MY, Steyn M. *The Human Skeleton in Forensic Medicine.* 3. izd. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas;2013.

69. Šlaus M, Strinovic D, Skavic J, Petrovecki V. Discriminant function sexing of fragmentary and complete femora: standards for contemporary Croatia. *Journal of forensic sciences*. 2003;48(3), 509-512.
70. Šlaus M, Bedić Ž, Strinović D, Petrovečki V. Sex determination by discriminant function analysis of the tibia for contemporary Croats, *Forensic Sci. Int.* 2013.
71. Bubalo P, Baković M, Tkalčić M, Petrovečki V, Mayer D. Acetabular osteometric standards for sex estimation in contemporary Croatian population. *Croatian Medical Journal*. 2019; 60(3), 221-226.
72. Bedalov A i sur. Sex estimation of the sternum by automatic image processing of multi-slice computed tomography images in a Croatian population sample: a retrospective study. *Croatian Medical Journal*. 2019; 60(3), 237-245.
73. Bašić, Ž. Određivanje antropoloških mjera i njihovih odnosa važnih za utvrđivanje spola na kosturnim ostacima srednjovjekovne populacije istočne obale Jadrana [disertacija]. Split: Sveučilište u Splitu, Medicinski fakultet; 2015.
74. Masuyama K, Shojo H, Nakanishi H, Inokuchi S, Adachi N. Sex Determination from Fragmented and Degenerated DNA by Amplified Product-Length Polymorphism Bidirectional SNP Analysis of Amelogenin and SRY Genes. *PLoS One*. 2017; 4;12(1):e0169348.
75. Steinlechner M, Berger B, Niederstatter H, Parson W. Rare failures in the amelogenin sex test. *Int.J.Legal Med*. 2002;116(2):117-120.
76. Maciejewska A, Pawłowski R. A rare mutation in the primer binding region of the Amelogenin X homologue gene. *Forensic Sci Int Genet*. 2009;3(4):265-7.
77. Fechner PY. The role of SRY in mammalian sex determination. *Acta Paediatr Jpn*. 1996;38(4):380-9.
78. Sobotta J, McMurrich JP. Atlas and textbook of human anatomy. Philadelphia: Saunders.1909.
79. Veldhuis JD, Roemmich JN, Richmond EJ, Rogol AD, Lovejoy JC, Sheffield-Moore M i sur. Endocrine control of body composition in infancy, childhood, and puberty. *Endocr Rev*. 2005;26(1):114-46.
80. Seeman E. Clinical review 137: sexual dimorphism in skeletal size, density, and strength. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2001;86 4576–4584.

81. Toledo Avelar LE, Cardoso MA, Santos Bordoni L, de Miranda Avelar L, de Miranda Avelar JV. Aging and Sexual Differences of the Human Skull. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2017;27;5(4):e1297.
82. White TD, Black MT, Folkens PA. *Human Osteology*. 3. izdanje. Massachusetts: Academic Pres;2011.
83. Langley NR, Jantz LM, Ousley SD, Jantz RL, Milner G. Data collection procedures for forensic skeletal material 2.0. Knoxville, TN: Forensic Anthropology Center, Department of Anthropology, University of Tennessee; 2016. p. 107.
84. Ogawa Y, Imaizumi K, Miyasaka S, Yoshino M. Discriminant functions for sex estimation of modern Japanese skulls. *Journal of forensic and legal medicine*. 2013; 20(4), 234-238.
85. Spradley MK, Jantz, RL. Sex estimation in forensic anthropology: skull versus postcranial elements. *Journal of forensic sciences*. 2011;56(2), 289-296.)
86. Toneva D, Nikolova S, Agre G, Zlatareva D, Hadjidekov V, Lazarov N. Machine learning approaches for sex estimation using cranial measurements. *International Journal of Legal Medicine*. 2001; 135(3), 951-966.
87. González-Colmenares G, Medina CS, Rojas-Sánchez MP, León K, Malpud A. Sex estimation from skull base radiographs in a contemporary Colombian population. *Journal of forensic and legal medicine*. 2019; 62, 77-81.
88. Kanchan, T, Gupta A, Krishan K. Estimation of sex from mastoid triangle—A craniometric analysis. *Journal of forensic and legal medicine*. 2013;20(7), 855-860.
89. Meral O, Meydan R, Toklu BB, Kaya A, Karadayi B, Acar T. Estimation of sex from computed tomography images of skull measurements in an adult Turkish population. *Acta Radiologica*. 2022; 63(11), 1513-1521.
90. Cappella A, Gibelli D, Vitale A, Zago M, Dolci C, Sforza C i sur. Preliminary study on sexual dimorphism of metric traits of cranium and mandible in a modern Italian skeletal population and review of population literature. *Leg Med (Tokyo)*. 2020;1;44:101695.
91. Mahakkanukrauh P, Sinthubua A, Prasitwattanaseree S, Ruengdit S, Singsuwan P, Praneatpolgrang S i sur. Craniometric study for sex determination in a Thai population. *Anat Cell Biol*. 2015;48(4):275-83.
92. Stratovan Checkpoint [Software]. Version 2018.08.07. 2018; [pristupljeno 12.01.2024.]. Dostupno na: <https://www.stratovan.com/products/checkpoint>.



93. Adams DC, Otárola-Castillo E. Geomorph: An R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods Ecol Evol.* 2013;4(4):393–9.
94. Langley NR, Meadows Jantz L, McNulty S, Maijanen H, Ousley SD, Jantz RL. Error quantification of osteometric data in forensic anthropology. *Forensic Sci Int.* 2018;287:183-189.
95. Kranioti EF, García-Donas JG, Can IO, Ekizoglu O. Ancestry estimation of three Mediterranean populations based on cranial metrics. *Forensic Sci Int.* 2018;286:265.e1– 8.
96. Simmons-Ehrhardt TL, Ehrhardt CJ, Monson KL. Evaluation of the suitability of cranial measurements obtained from surface-rendered CT scans of living people for estimating sex and ancestry. *J Forensic Radiol Imaging.* 2019;19:100338.
97. Liebenberg L, Krüger GC. Standardization and quality assurance in skeletal landmark placement and osteometry. *Forensic Sci Int.* 2020;308:110168.
98. Bašić Ž, Fox AR, Anterić I, Jerković I, Polašek O, Anđelinović Š i sur. Cultural inter-population differences do not reflect biological distances: an example of interdisciplinary analysis of populations from Eastern Adriatic coast. *Croat Med J.* 2015;56:230–8.
99. Sparks CS, Jantz RL. A reassessment of human cranial plasticity: Boas revisited. *Proc Natl Acad Sci.* 2002;99:14636–9.
100. Ramamoorthy B, Pai MM, Prabhu LV, Muralimanju BV, Rai R. Assessment of craniometric traits in South Indian dry skulls for sex determination, *J. Forensic Leg. Med.* 2016; 37: 8–14.
101. Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A. Estimation of sex from cranial measurements in a Western Australian population, *Forensic Sci. Int.* 2013; 229:158.e1– 158.e8.
102. Saini V, Sristava R, Rai RK, Shamal SN, Singh TB, Tripathi SK. An osteometric study of Northern Indian population for sexual dimorphism in craniofacial region, *J. Forensic Sci.* 2011; 56:700–705.
103. Dayal MR, Spocter MA, Bidmos MA. An assessment of sex using the skull of black South Africans by discriminant function analysis, *Homo.* 2008; 59:209–221.
104. Kranioti EF, Iscan MY, Michalodimitrakis M. Craniometric analysis of the modern Cretan population, *For. Sci. Int.* 2008; 180:110.e1–110.e5.

105. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Can IO, Solmaz D, Aksoy S i sur. Assessment of sex in a modern Turkish population using cranial anthropometric parameters, *Leg. Med.* 2016; 21:45–52.
106. Cappella A, Gibelli D, Vitale A, Zago M, Dolci C, Sforza C i sur. Preliminary study on sexual dimorphism of metric traits of cranium and mandible in a modern Italian skeletal population and review of population literature. *Leg Med (Tokyo)*. 2020; 1;44:101695.
107. Fortes de Oliveira O, Lima Ribeiro Tinoco R, Daruge Júnior E, Silveira Dias Terada AS, Alves da Silva RH, Paranhos LR. Sexual dimorphism in Brazilian human skulls: discriminant function analysis. *J Forensic Odontostomatol.* 2012; 1;30(2):26-33.

## 11. ŽIVOTOPIS

Elvira Krešić rođena je 18.10.1987. godine u Kutini. Osnovnu školu i Opću gimnaziju završila je u Kutini. Medicinski fakultet sveučilišta u Zagrebu upisala je 2006. godine, a diplomirala 2012. godine. Jednogodišnji pripravnički staž odradila je u DZ Kutina i KB Sveti Duh. Od 2014. do 2017. godine radila je u ordinaciji obiteljske medicine u Kutini. Specijalizaciju iz kliničke radiologije započela je u travnju 2017. godine u KBC-u Zagreb. Europski ispit iz radiologije položila je u lipnju 2021. na petoj godini specijalizacije. Specijalist kliničke radiologije postala je u srpnju 2022. godine. Subspecijalizaciju iz intervencijske radiologije započela je 2023. godine. Tijekom specijalizacije završila je i poslijediplomski specijalistički studij Klinička radiologija 2021. godine. Akademske godine 2020./2021. upisala je poslijediplomski doktorski studij Biomedicina i zdravstvo na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Suradnica je na dva znanstvena projekta u sklopu Hrvatske zaklade za znanost. Aktivno je sudjelovala na brojnim međunarodnim kongresima te je autorica i koautorica desetak znanstvenih radova. Članica je HDR-a, Sekcije za intervencijsku radiologiju, ECR-a i CIRSE-a. Suzastupnica je Hrvatske u ETFS-u što je pododbor ETF-a (platforme koja je pokrenuta od strane CIRSE-a). Aktivno se služi engleskim, španjolskim i talijanskim jezikom.