

# BIOMEHANICKA SVOJSTVA STITNE HRSKAVICE

---

**Kovač, Tanja**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Medicine / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:152:535654>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Medicine Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

MEDICINSKI FAKULTET OSIJEK

Tanja Kovač

**BIOMEHANIČKA SVOJSTVA ŠTITNE HRSKAVICE**

Doktorska disertacija

OSIJEK, 2016.

Mentor: prof.dr.sc. Radivoje Radić

Rad ima 75 listova.

## SADRŽAJ

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | <b>UVOD</b>  | 1  |
| 1.1.   | <b>Građa i oblik štitne hrskavice</b>                      | 1  |
| 1.1.1. | <i>Embriološki razvoj štitne hrskavice</i>                 | 2  |
| 1.1.2. | <i>Okoštavanje štitne hrskavice</i>                        | 2  |
| 1.1.3. | <i>Mišići i ligamenti vezani uz štitnu hrskavicu</i>       | 2  |
| 1.1.4. | <i>Funkcija štitne hrskavice</i>                           | 3  |
| 1.2.   | <b>Mehanička svojstva hrskavice</b>                        | 4  |
| 1.3.   | <b>Forenzičke dobno-spolne implikacije</b>                 | 5  |
| 2.     | <b>HIPOTEZA</b>  | 6  |
| 3.     | <b>CILJEVI ISTRAŽIVANJA</b>                                | 7  |
| 4.     | <b>MATERIJALI I METODE</b>                                 | 9  |
| 4.1.   | <b>Uzorak</b>  | 9  |
| 4.2.   | <b>Morfometrija štitne hrskavice</b>                       | 10 |
| 4.3.   | <b>Rendgensko oslikavanje štitne hrskavice</b>             | 12 |
| 4.4.   | <b>Računalna obrada rendgenskih slika štitne hrskavice</b> | 13 |
| 4.4.1. | <i>Utvrdjivanje reproducibilnosti metode</i>               | 15 |
| 4.5.   | <b>Određivanje žilavosti štitnih hrskavica</b>             | 16 |
| 4.5.1. | <i>Utvrdjivanje reproducibilnosti metode</i>               | 17 |
| 4.6.   | <b>Mjerenje volumena štitne hrskavice</b>                  | 18 |
| 4.7.   | <b>Određivanje mineralne gustoće štitne hrskavice</b>      | 19 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.7.1. | <i>Utvrđivanje reproducibilnosti metode</i>                            | 20 |
| 4.8.   | <b>Statističke metode</b>  | 21 |
| 5.     | <b>REZULTATI</b>   | 22 |
| 5.1.   | <b>Razdioba uzoraka</b>  | 22 |
| 5.2.   | <b>Morfometrijska analiza štitne hrskavice</b>                         | 23 |
| 5.2.1. | <i>Morfometrijska analiza na ukupnom uzorku</i>                        | 23 |
| 5.2.2. | <i>Morfološka razdioba uzoraka</i>                                     | 25 |
| 5.2.3. | <i>Razdioba štitne hrskavice po morfološkom tipu</i>                   | 26 |
| 5.3.   | <b>Utvrđivanje mineralizacije štitne hrskavice računalnim metodama</b> | 32 |
| 5.3.1. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o dobi ispitanika</i>   | 32 |
| 5.3.2. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o spolu</i>             | 33 |
| 5.3.3. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o morfološkom tipu</i>       | 33 |
| 5.3.4. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja</i>         | 34 |
| 5.4.   | <b>Utvrđivanje žilavosti štitne hrskavice</b>                          | 35 |
| 5.4.1. | <i>Razdioba štitnih hrskavica ovisno o načinu pucanja</i>              | 35 |
| 5.4.2. | <i>Žilavost štitne hrskavice u ovisnosti o dobi ispitanika</i>         | 36 |
| 5.4.3. | <i>Žilavost štitne hrskavice u ovisnosti o spolu</i>                   | 37 |
| 5.4.4. | <i>Žilavost štitne hrskavice u ovisnosti o morfološkom tipu</i>        | 37 |
| 5.4.5. | <i>Žilavost štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja</i>               | 38 |
| 5.5.   | <b>Utvrđivanje mineralizacije štitne hrskavice metodom žarenja</b>     | 39 |
| 5.5.1. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o dobi ispitanika</i>   | 39 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.5.2. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o spolu</i>   | 40 |
| 5.5.3. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o morfološkom tipu</i>                                   | 40 |
| 5.5.4. | <i>Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja</i>                                     | 41 |
| 5.6.   | <b>Usporedba dviju metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica</b>                         | 42 |
| 5.6.1. | <i>Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica u ovisnosti o dobi ispitanika</i> | 42 |
| 5.6.2. | <i>Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu</i>           | 43 |
| 5.6.3. | <i>Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavice ovisno o morfološkom tipu</i>     | 43 |
| 5.6.4. | <i>Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica ovisno o načinu pucanja</i>       | 44 |
| 5.6.5. | <i>Korelacija između metoda utvrđivanja mineralizacije</i>   | 45 |
| 6.     | <b>RASPRAVA</b>  | 46 |
| 6.1.   | <b>Rasprava o temi</b>   | 46 |
| 6.2.   | <b>Rasprava o materijalima i metodama</b>  | 47 |
| 6.2.1. | <i>Uzorak</i>  | 47 |
| 6.2.2. | <i>Morfometrija štitne hrskavice</i>   | 47 |
| 6.2.3. | <i>Rendgensko oslikavanje štitne hrskavice</i>   | 48 |
| 6.2.4. | <i>Računalna obrada rendgenskih slika štitne hrskavice</i>   | 48 |

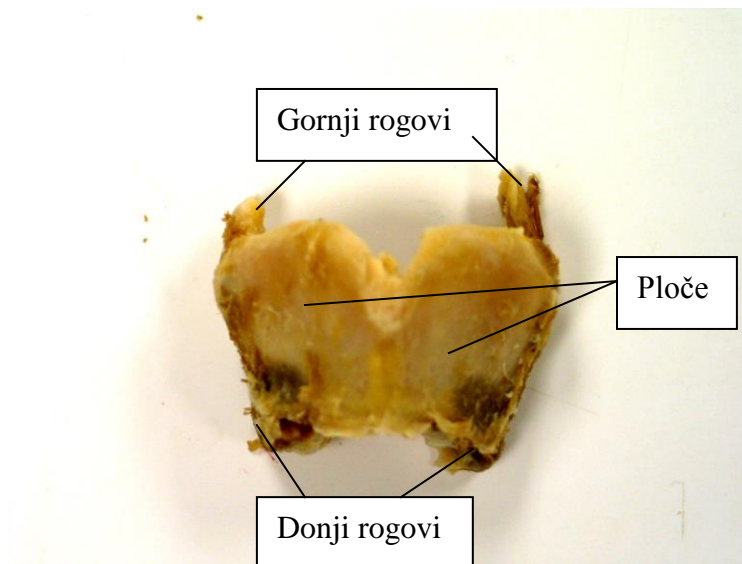
|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.2.5. | <i>Određivanje žilavosti štitnih hrskavica</i>                            | 49 |
| 6.2.6. | <i>Mjerenje volumena i određivanje mineralne gustoće štitne hrskavice</i> | 50 |
| 6.3.   | <b>Rasprava o rezultatima</b>   | 51 |
| 6.3.1. | <i>Morfometrijska analiza štitne hrskavice</i>                            | 51 |
| 6.3.2. | <i>Mineralna gustoća štitne hrskavice</i>                                 | 53 |
| 6.3.3. | <i>Žilavost štitne hrskavice</i>  | 55 |
| 7.     | <b>ZAKLJUČAK</b>  | 57 |
| 8.     | <b>REFERENCE</b>  | 59 |
| 9.     | <b>SAŽETAK</b>  | 63 |
| 10.    | <b>SUMMARY</b>  | 65 |
| 11.    | <b>ŽIVOTOPIS AUTORA</b>   | 67 |

## 1. UVOD

### 1.1 Građa i oblik štitne hrskavice

Štitna hrskavica (cartilago thyroidea) dio je grkljanskih hrskavica koje izgrađuju grkljan (larynx). Građena je od dviju ploča (lamina dextra et sinistra). Ploče štitne hrskavice konvergiraju prema naprijed i koso se spajaju u medijanoj ravnini te zatvaraju veći ili manji kut koji oblikuje izbočenje grkljana pod kožom – prominentia laryngea, poznato i pod imenom Adamova jabučica (pomum Adami). Ovdje se već pojavljuju naznake spolnog dimorfizma, odnosno razlike u morfologiji štitne hrskavice kod muškaraca i žena.

Sa stražnjeg dijela gornjeg ruba odvaja se, s obje strane, gornji rog štitne hrskavice (cornu superius), a s donjeg ruba donji rog (cornu inferius). Donji rog je nešto manji i zavnut prema unutra (Slika 1.1), Gornji par rogova povezuje štitnu hrskavicu s jezičnom kosti, a donji par s prstenastom hrskavicom (1).



Slika 1.1. Dijelovi štitne hrskavice



### *1.1.1. Embriološki razvoj štitne hrskavice*

Štitna hrskavica se tijekom embrionalnog razvoja razvija od mezenhima četvrtog i šestog ždrijelnog luka. Gornji rogovi i gornje dvije trećine ploča štitne hrskavice razvijaju se iz četvrtog, a donja trećina ploča i donji rogovi štitne hrskavice razvijaju se iz šestog škržnog luka. Spajanjem tih hrskavičnih dijelova tijekom embrionalnog razvoja nastaje cjelovita štitna hrskavica (2).

### *1.1.2. Okoštavanje štitne hrskavice*

Štitna hrskavica građena je od hijaline hrskavice koja može okoštati u starijoj dobi. Okoštavanje štitne hrskavice je degenerativni proces u sklopu njezinog starenja, no taj proces je individualan i varijabilan te podudarnost dobi i stupnja osifikacije nije potpuna (3).

### *1.1.3. Mišići i ligamenti vezani uz štitnu hrskavicu*

Uz štitnu hrskavicu veže se dio infrahoidnih mišića te dio grkljanskih mišića.

Na lateralnoj plohi štitne hrskavice nalazi se kosi greben (*linea obliqua*) za koji se hvataju infrahoidni mišići: *m. sternothyroideus*, *m. thyrohyoideus* i *pars thyropharyngea m. constrictoris pharyngis inferioris*.

Od grkljanskih mišića uz štitnu hrskavicu vezani su mišići koji natežu i otpuštaju glasnice: *m. cricothyroideus*, *m. thyroarythenoideus* i *m. vocalis*.

Štitna hrskavica povezana je s jezičnom kosti i prstenastom hrskavicom pomoću nekoliko vezivnih spojeva: *membrana thyrohyoidea* (s *lig. thyrohyoideum medianum* i *lig. thyrohyoideum laterale*), *lig. ceratocricoidium*, *lig. thyroepiglotticum*, *lig. cricothyroideum medianum*, *lig. vocale* (1).

#### *1.1.4. Funkcija štitne hrskavice*

Štitna hrskavica najveća je grkljanska hrskavica te čini najveći dio građevnog temelja grkljana, koji daje stabilnost tom dijelu dišnog sustava. Povezanošću mišićima i ligamentima s ostalim laringealnim strukturama daje čvrst oslonac, što omogućuje pomicanje drugih grkljanskih hrskavica i tako omogućuje respiraciju i zaštitu dišnog sustava. Ima neizostavnu ulogu u fonaciji budući da se na nju hvataju glasnice i mišići odgovorni za fonaciju.

## 1.2 Mehanička svojstva hrskavice

Hrskavica je visoko specijalizirano potporno tkivo koje se sastoji od hrskavičnih stanica – hondrocita i čvrste međustanične tvari. Mehanička svojstva hrskavice određena su svojstvima međustanične tvari. Međustanična tvar sastoji se od mreže kolagenskih vlakana i proteoglikanskog matriksa koji imobilizira veliku količinu vode, tako da se čvrstoća hrskavice temelji na hidrostatskom principu što hrskavici omogućuje odolijevanje mehaničkom opterećenju bez trajnih deformacija. Hrskavica je relativno čvrsto potporno tkivo, ali elastičnija i lakše se deformira od kosti. Dovoljno je otporna i na tlak i na vlak i na savijanje.

Starenjem dolazi do degenerativnih promjena hrskavice. Hijalina hrskavica koja izgrađuje grkljanske hrskavice degenerira kalcificiranjem međustanične tvari uz bubrenje i propadanje hondrocita, što znači da ovapnjela hrskavica kao tkivo više nije živo. Proces je kalcifikacije individualan i varijabilan.

Mehanički, hrskavicu možemo promatrati kao višefazni, odnosno dvofazni materijal. Jednu od temeljnih faza čini mreža vlakana matriksa, a drugu pokretljiva intersticijska tekućina. Kao dvofazni materijal, hrskavica se ponaša visukoelastično zbog pomicanja obiju temeljnih faza. Promjene hrskavice i njezina deformacija ovisne su i o načinu djelovanja sile. Sposobnost materijala, u ovom slučaju hrskavice, da apsorbira određenu količinu energije prije nego što dođe do loma označava se kao žilavost. Žilavost je ovisna o površini poprečnog presjeka i označava se u  $J/m^2$ .

Uzorak hrskavice može se čuvati tijekom dužeg vremena na temperaturi nižoj od  $-20^{\circ}C$ , a prije pokusa treba ga odmrznuti u hladnjaku pri temperaturi  $2-4^{\circ}C$ , 6-12 h prije provođenja pokusa. Konzerviran i osušen uzorak ima bitno drugačija mehanička svojstva u odnosu na svjež i fiziološki vlažan uzorak, no nema razlike između svježih i prethodno zamrznutih uzoraka (3).

### **1.3 Forenzičke dobno-spolne implikacije**

Tijekom godina dolazi do promjena u građi štitne hrskavice što se očituje prije svega u njezinoj osifikaciji. No, iako je osifikacija izraženija s dobi, ta podudarnost nije potpuna i postoje odstupanja. Također ima nekih naznaka da je osifikacija u žena manje izražena i sporije nastupa (4-8). Smatra se kako je incidencija fraktura prilikom suspenzije i strangulacije u izravnoj ovisnosti s oblikom i stupnjem mineralizacije, no također ovisi i o primijenjenoj sili, što dovodi do rjeđe pojave fraktura pri samoubojstvima jer se ne uspije razviti potrebna sila (9). Do 10% nasilnih ili kriminalno povezanih smrti u velikim urbanim područjima povezano je s nekom formom strangulacije (10). Kod strangulacije (osobito manualne) frakture štitne hrskavice bile su znatno češće te su bile češće u muškaraca jer je u njih jače izražena osifikacija i potrebna je veća sila. Kod štitnih hrskavica najčešće je dolazilo do prijeloma jednog ili više rogova (10-25).

Premda se priličan broj radova bavi incidencijom i mjestom prijeloma laringealnih struktura pri manualnoj i ligaturnoj strangulaciji te vješanju, biomehanička svojstva štitne hrskavice slabo su istražena (26-29).

## **2. HIPOTEZA**

Stupanj osifikacije i biomehanička svojstva štitne hrskavice ovise o obliku, spolu, omjeru morfometrijskih utvrđenih parametara kao i o kronološkoj dobi. Te potencijalno opažene spoznaje mogu se standardizirati u svrhu primjene u forenzičkoj medicini.

### 3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj ove studije je dati nove smjernice u anatomskej klasifikaciji, kao i proučiti razlike oblika štitnih hrskavica. Uz navedeno, cilj nam je utvrditi mineralizacijska i mehanička svojstva štitnih hrskavica ovisna o dobi, spolu i morfološkim karakteristikama. Također nam je cilj usporediti različite metode utvrđivanja mineralizacije. S tom svrhom postavili smo nekoliko ciljeva i pravaca istraživanja:

- morfometrijskom analizom dobiti podatke o dimenzijama „standardne“ štitne hrskavice kod žena i muškaraca
- na osnovi indeksa proizašlih iz morfometrijskih mjerenja tipizirati štitne hrskavice po obliku
- utvrditi učestalost pojedinih morfoloških tipova štitne hrskavice u ovisnosti o spolu i životnoj dobi ispitanika
- odrediti mineralnu gustoću štitne hrskavice metodom radiografske apsorpciometrije
- odrediti pravu mineralnu gustoću štitne hrskavice žarenjem u laboratorijskoj peći uz prethodno određivanje volumena uzoraka Arhimedovim principom
- dobiti saznanja o dinamici mineralne gustoće štitne hrskavice ovisno o dobi, spolu i morfološkim tipovima štitne hrskavice
- usporediti rezultate i pouzdanost različitih metoda korištenih pri određivanju mineralne gustoće štitne hrskavice
- utvrditi mehanička svojstva štitne hrskavice ispitivanjem žilavosti
- dobiti saznanja o ovisnosti žilavosti o mineralnoj gustoći štitne hrskavice, dobi, spolu i morfološkom tipu

- na osnovi stupnja mineralizacije dobiti saznanja o utjecaju okoštavanja na mehanička svojstva štitne hrskavice
- na osnovu saznanja o obliku, mineralnoj gustoći i žilavosti utvrditi biomehaniku prijeloma štitnih hrskavica.

## 4. MATERIJALI I METODE

### 4.1. Uzorak

Istraživanje je provedeno na 46 preparata štitnih hrskavica iz arhivske zbirke Zavoda za anatomiju, Medicinskog fakulteta Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku.

Preparati su podrijetlom od odraslih osoba oba spola poznatih podataka o dobi i spolu. 26 uzoraka podrijetlom je od osoba muškog spola, a 20 od osoba ženskog spola. Dob se kretala u rasponu od 15 do 90 godina. Dobno-spolna razdioba bila je homogena, što je potvrđeno  $\chi^2$  testom ( $\chi^2 = 3,162$ ,  $p = 0,126$ ), koji je ukazao da nema značajne dobne statističke razlike između spolova čime je eliminiran eventualni dobni utjecaj na vjerodostojnost podataka. Kao granicu  $\chi^2$  testa uzeli smo prosječnu dob promatrane populacije koja iznosi 64 godine.

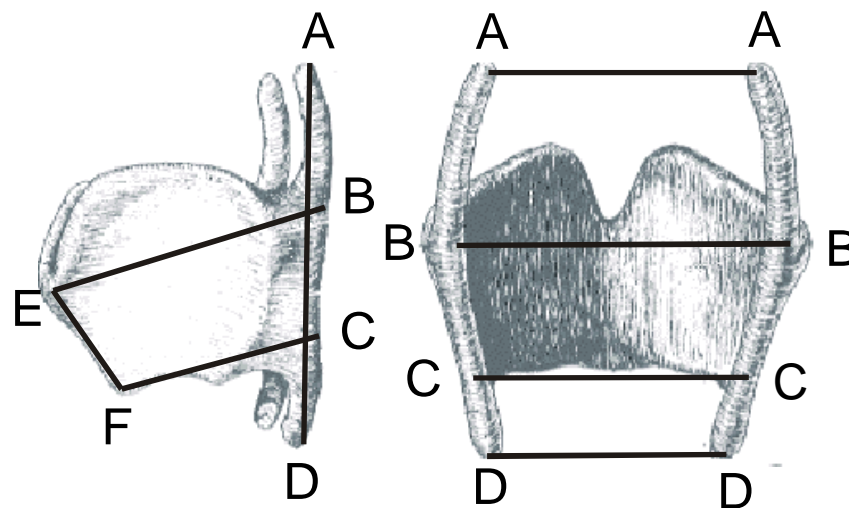
Štitne hrskavice očišćene su od mekih tkiva te su fiksirane u 10% otopini formaldehida kroz 48 sati. Fiksirane i očišćene preparate zamrznuli smo te čuvali u zamrzivaču na  $-20^\circ \text{C}$ . Nakon toga obavljena su mjerenja. 6-12 h prije provođenja pokusa preparate smo odmrznuli u hladnjaku pri temperaturi  $2-4^\circ \text{C}$ .



## 4.2. Morfometrija štitne hrskavice

Antropometrijska mjerenja proveli smo izravno na preparatima digitalnim kaliperom s preciznošću 0,03 mm. Tiroidni kut mjerili smo isto tako izravno optičkim goniometrom s preciznošću 0,08°.

Kako bismo u potpunosti morfološki opisali, štitnu hrskavicu mjerili smo 12 standardnih parametara, dvostrane parametre posebno za lijevu i desnu stranu (Slika 4.1).



Slika 4.1. Antropometrijske varijable štitne hrskavice

Izravno smo mjerili:

AA – razmak između vrhova gornjih rogova

BB – razmak između korijena gornjih rogova

CC – razmak između korijena donjih rogova

DD – razmak između vrhova donjih rogova

AD – stražnja visina štitne hrskavice (razmak između vrhova gornjeg i donjeg roga)

AB – dužina gornjih rogova

CD – dužina donjih rogova

BE – gornja širina štitne hrskavice (razmak između gornje incizure i korijena gornjih rogova)

CF – donja širina štitne hrskavice (razmak između donje incizure i korijena donjih rogova)

EF – prednja visina štitne hrskavice (razmak između gornje i donje incizure)

$\alpha$  - tiroidni kut

Iz ovih parametara izračunali smo još i:

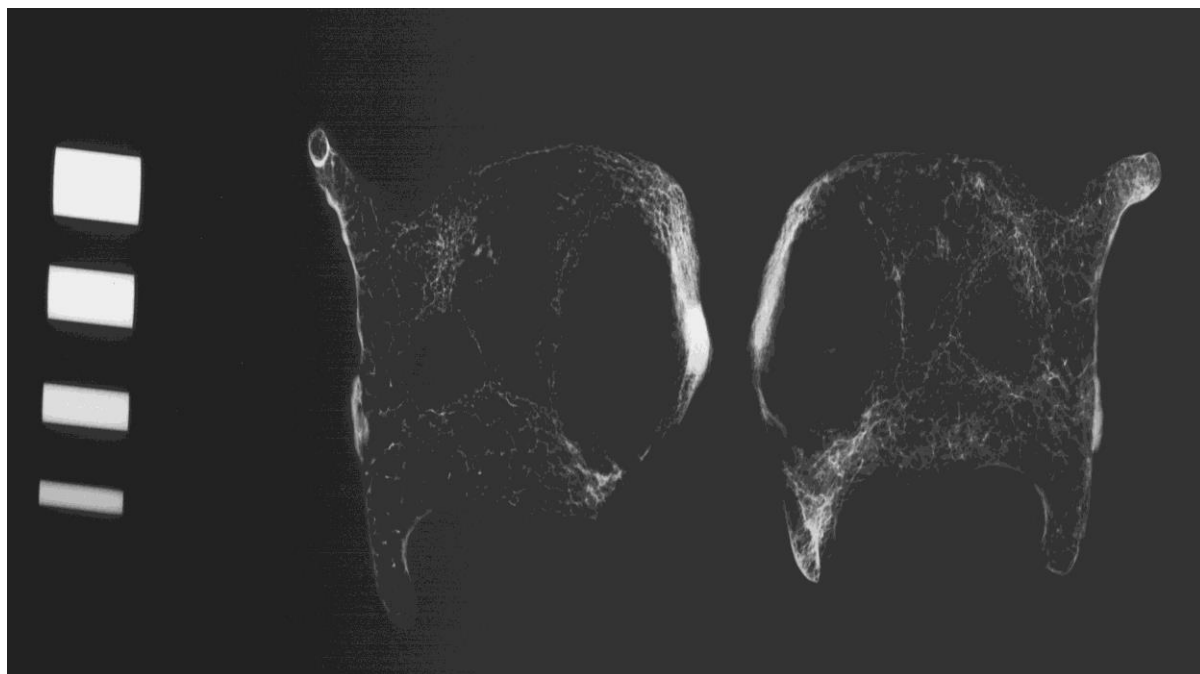
BC – stražnja visina ploče ( $BC = AD - (AB + CD)$ ).

### 4.3. Rendgensko oslikavanje štitne hrskavice

Štitne hrskavice rendgenski smo slikati na aparatu za mamografiju u poznatim i kontroliranim uvjetima uz poznatu i uvijek identičnu energiju od 18 mA te napon od 23 kV. Rendgenski aparat za mamografiju ima molibdensku anodu, stoga je snop rendgenskog zračenja na takvom aparatu približno monokromatski. Udaljenost od fokusa rendgenske cijevi do filma bila je konstantna za sve uzorke i iznosila je 105 cm. Štitna hrskavica položena je na podlogu neposredno iznad rendgenskog filma, tako da je efekt uvećanja preparata na rendgenskoj slici gotovo zanemariv. Uz štitnu hrskavicu, na svakoj je rendgenskoj slici slikan i aluminijski step-etalon s četiri valjka aluminijskih poznatih promjera. Pregrade su okrugle, što omogućuje jednaku propusnost neovisno o kutu upada zraka. Pregrade su redom promjera: 2, 3, 4 i 5 milimetara. Aluminijski valjci etalona postavljeni su tako da rendgenska zraka prolazi njihovim čitavim promjerom (30-37).

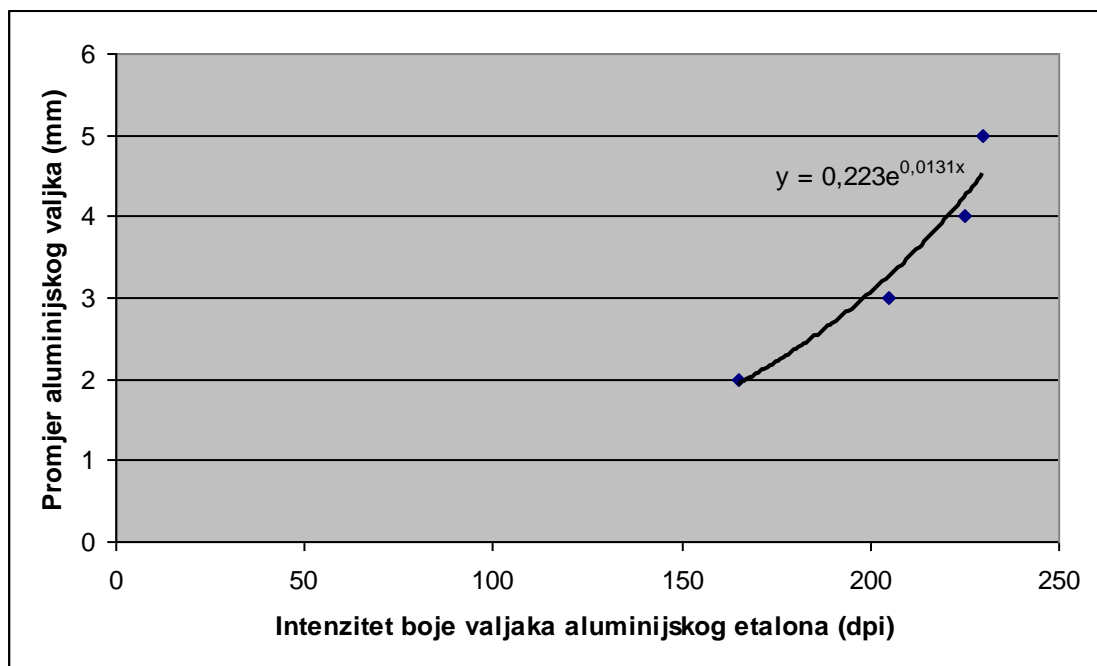
#### 4.4. Računalna obrada rendgenskih slika štitne hrskavice

Rendgenske slike štitne hrskavice računalno su analizirane s ciljem izračunavanja prosječne gustoće izražene kao ekvivalent gustoće aluminija. Rendgenske slike skenirane su na skeneru (Canon 9900 F ) koristeći uvijek istu rezoluciju od 1 600 dpi i iste parametre pri skeniranju (Slika 4.2).



**Slika 4.2. Rendgenska slika štitne hrskavice za računalnu analizu**

Skenirane rendgenske slike računalno smo obrađivali pomoću Corel PHOTO-PAINT 11 (2002. Corel Corporation). Označili smo granice hrskavice i odredili histogram (brojčano izražen intenzitet boje u mogućem rasponu 0-256 pixela po inču) cjelokupne hrskavice. Dobili smo prosječnu numeričku vrijednost za željeni dio slike, a usporedbom s vrijednostima za aluminijski etalon prosječnu smo gustoću štitne hrskavice konačno izrazili kao ekvivalent debljine aluminija (30-37). Na skeniranim rendgenskim slikama odredili smo histogram svakog pojedinog valjka aluminijskog etalona. Odstupanja u vrijednostima intenziteta boje aluminijskih valjaka među različitim uzorcima bila su manja od 5% te smo prosječne vrijednosti unijeli u grafikon. Iz grafikona je izražena funkcija krivulje pomoću koje je bilo moguće izraziti mineralnu gustoću svake pojedine hrskavice kao ekvivalenta debljine aluminija (Slika 4.3).



**Slika 4.3. Graf funkcije intenziteta boje odjeljaka aluminijskog etalona**

#### *4.4.1. Utvrđivanje reproducibilnosti metode*

U svrhu utvrđivanja reproducibilnosti rendgenskog oslikavanja i računalne obrade rendgenskih slika, 10 štitnih hrskavica uslikali smo s tri različite prodornosti rendgenskih zraka. Pri tome smo mijenjali samo napon pa su hrskavice osim s 23 kV bile uslikane i pri naponu od 22 i 24 kV. Slike koje su snimljene zrakama ječe prodornosti bile su nereproducibilne, s obzirom na to da slabije mineralizirani dijelovi kosti nisu bili prikazani. S druge strane, slike koje su snimljene zrakama manje prodornosti su prilikom određivanja histograma u pojedinim dijelovima imale maksimalan intenzitet boje, pa rezultati dobiveni na taj način ne bi bili pouzdani. Procijenili smo kako su slike dobivene pri energiji od 18 mA i naponu od 23 kV najpouzdanije za računalnu analizu (30).

#### 4.5. Određivanje žilavosti štitnih hrskavica

Žilavost štitnih hrskavica odredili smo pomoću stroja izrađenog u Laboratoriju za ispitivanje svojstava materijala na Elektrotehničkom fakultetu, Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, za potrebe istraživanja žilavosti jezične kosti (30) (Slika 4.4).



**Slika 4.4. Stroj za lom štitnih hrskavica**

Stroj se sastoji od kompresora zraka (snage do 8,5 bara) s prispojnim provodnicima, mikrovijka za regulaciju intenziteta tlaka (sile) na cilindru s metalnom čeljusti te mjerača pomaka klipa u cilindru. Analogno-digitalni pretvornik ugrađen u uređaj omogućava da se veličina sile i deformacije u realnom vremenu prate i pohrane na osobnom računalu. U posebno konstruiranu metalnu čeljust poprečno se postavi štitna hrskavica te se mikrovijkom regulira sila kojom se hrskavica komprimira. Pri tome uređaj bilježi silu uloženu u lom u N (njutnima) i maksimalnu deformaciju štitne hrskavice neposredno prije pucanja s preciznošću od 1 mm. Za maksimalnu zadanu silu odabrali smo 50 N, a kao zadano vrijeme 50 s kako bismo dobili porast sile od 1N/s. Odredili smo pri kojoj sili je došlo do pucanja pojedine štitne hrskavice te umnoškom intenziteta uložene sile i pomaka utvrdili energiju potrebnu za lom svake pojedine štitne hrskavice u J (džulima). Do loma je dolazilo u području ploče štitne hrskavice (Slika 4.5).



**Slika 4.5. Štitna hrskavica nakon provedenog lomljenja**

Presjek ploče štitne hrskavice na mjestu loma ima približno oblik trapeza, stoga je lomna površina izračunata kao površina trapeza, a dimenzije lomnih linija izmjerene su pomičnom mjerkom s točnošću od  $1 \cdot 10^{-5}$  m. Žilavost je definirana kao rad potreban za lom određenog materijala, predstavlja kvocijent energije utrošene na lom u J (džulima) i lomne površine izražene u  $m^2$  (3, 38-46). Mjerna jedinica kojom smo izrazili žilavost štitne hrskavice je  $J/m^2$ .

#### *4.5.1. Utvrđivanje reproducibilnosti metode*

Budući da smo istraživanje proveli na istom stroju na kojem je rađeno ispitivanje žilavosti jezične kosti (30), istom metodologijom, smatra se kako su uvjeti provođenja istraživanja jednaki, tako da nije došlo do promjene varijabilnosti utvrđene u tom istraživanju kada je utvrđen prosječan koeficijent varijabilnosti od  $1 \pm 0,09$ .



#### **4.6. Mjerenje volumena štitne hrskavice**

Nakon slikanja i računalne obrade te određivanja žilavosti izmjerili smo volumen svake pojedine štitne hrskavice. Volumen smo odredili pomoću staklene menzure s odjeljcima preciznosti  $0,1 \text{ cm}^3$  u koju smo ulili destiliranu vodu. Nakon toga smo u posudu uronili štitnu hrskavicu. Porast volumena vode, koji je u ovom slučaju odgovarao volumenu štitne hrskavice, očitali smo na odjeljcima menzure. Mjerenja smo obavili na sobnoj temperaturi pri čemu nije bilo značajnog odstupanja te ćemo na taj način utvrditi volumen štitne hrskavice s preciznošću od  $0,1 \text{ cm}^3$  (30,31).

#### 4.7. Određivanje mineralne gustoće štitne hrskavice

Mineralnu gustoću određivali smo poslije ispitivanja žilavosti na materijalu prelomljenih štitnih hrskavica metodom žarenja (pepeljenja) (30,31). Prije početka žarenja izmjerili smo volumen uzoraka s točnošću mjerenog volumena  $0,1 \text{ cm}^3$ .

Za određivanje mase minerala koristili smo laboratorijsku peć za žarenje (Instrumentaria Zagreb). Definirane uzorke štitnih hrskavica žarili smo na temperaturi od  $800^\circ \text{ C}$  tijekom 5 sati. Uzorci su se u peći za žarenje nalazili sve do hlađenja peći, odnosno još 20 sati (20). Uzorke štitnih hrskavica žarili smo u specijalnim keramičkim lončićima za žarenje koji mogu podnijeti temperaturu do  $1200^\circ \text{ C}$  (Slika 4.6).



**Slika 4.6. Keramički lončići za žarenje štitnih hrskavica**

Za mjerenje mase koristili smo vagu s točnošću izmjerene mase od 0,01 gram. Svaki put prije žarenja izmjerili smo masu svakog pojedinog lončića za žarenje. Nakon žarenja, prema već spomenutom protokolu, mjerena je masa lončića za žarenje i dobivenog pepela zajedno. Masu pepela (minerala) za pojedini uzorak izračunali smo oduzimanjem od mase praznog lončića. Pravu mineralnu gustoću svakog pojedinog uzorka štitne hrskavice dobili smo dijeljenjem mase pepela s volumenom svakog uzorka.

#### *4.7.1. Utvrđivanje reproducibilnosti metode*

Radi provjere protokola pokusa, izvršili smo probno žarenje pod gore navedenim uvjetima s 10 uzoraka štitnih hrskavica te izmjerili masu mineralnog sadržaja kojeg smo dobili. Nakon ponovljenog žarenja istih uzoraka na 800° C u trajanju od 5 sati izmjerena je identična masa minerala. Protokol pokusa prihvatili smo nakon što smo utvrdili kako daljnjim žarenjem ne dolazi do promjene mase minerala.

#### **4.8. Statističke metode**

U statističkoj obradi korišteni su računalni programi Microsoft Office Excel 2003 (2003, Microsoft Corporation) i SPSS 13.0 for Windows (2004. SPSS Inc.). Dobivene vrijednosti varijabli deskriptivnom smo analizom prikazali s prosječnom vrijednošću i standardnom devijacijom. Podatke smo razvrstali prema spolu, starosnoj dobi, morfološkom tipu te prema vrijednostima mineralne gustoće i žilavosti štitne hrskavice.

Značajnost razlike među promatranim vrijednostima određena je neparametrijskim testovima za nezavisne uzorke (Mann-Whitney i Kruskal-Wallis test).

Za usporedbu korelacijskih odnosa među parametrima uporabljena je metoda Pearsonove linearne regresije pri čemu smo u tablicama iskazali vrijednost ( $r$ ) i vjerojatnost ( $p$ ) između dvaju promatranih parametara.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Razdioba uzoraka

Sve smo uzorke razvrstali prema spolu i starosti (Tablica 5.1).

**Tablica 5.1.** Distribucija uzoraka u ovisnosti o spolu i dobi

| STAROSNA DOB | ŽENE | MUŠKARCI | UKUPNO |
|--------------|------|----------|--------|
| 15-30 GOD.   | 0    | 4        | 4      |
| 31-50 GOD.   | 1    | 5        | 6      |
| 51-70 GOD.   | 7    | 7        | 14     |
| 71-90 GOD.   | 12   | 10       | 22     |
| UKUPNO       | 20   | 26       | 46     |

## 5.2. Morfometrijska analiza štitne hrskavice

### 5.2.1. Morfometrijska analiza na ukupnom uzorku

Tablica 5.2 prikazuje prosječne vrijednosti mjerenih parametara kojima smo u potpunosti dimenzijski opisali štitnu hrskavicu. Iz tablice je vidljivo kako su štitne hrskavice osoba muškog spola veće u svim mjerenim parametrima osim tiroidnog kuta. Statistički značajna razlika između spolova postoji među svih parametrima koji opisuju dimenzije štitne hrskavice u kranio-kaudalnom smjeru, a razlika je osobito izražena ( $p < 0,001$ ) kod prednje (EF) i stražnje visine štitne hrskavice (AD). Izrazita statistički značajna razlika postoji i kod parametara koji opisuju dimenzije štitne hrskavice u antero-posteriornom smjeru, tj. gornje (BE) i donje širine štitne hrskavice (CF). Kod parametara koji opisuju dimenzije štitne hrskavice statistički značajna razlika postoji u razmaku između baza gornjih (BB) i donjih rogova (CC) te razmaku između vrhova donjih rogova (DD). Kod razmaka između vrhova gornjih rogova (AA) nije uočena statistički značajna razlika i to je jedini mjereni pokazatelj koji ne pokazuje statistički značajnu spolnu razliku. Tiroidni kut jedini je mjereni parametar koji je veći u osoba ženskog spola pri čemu pokazuje izrazito značajnu spolnu razliku ( $p < 0,001$ ).

**Tablica 5.2. Dimenzije štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu**

|              |        | Ukupno        | Muški        | Ženski        | p       |
|--------------|--------|---------------|--------------|---------------|---------|
| AA (mm)      |        | 39,02 ± 8,05  | 39,68 ± 7,84 | 38,15 ± 8,43  | 0,478   |
| BB (mm)      |        | 42,43 ± 7,14  | 44,71 ± 6,48 | 39,47 ± 7,00  | 0,005   |
| CC (mm)      |        | 36,60 ± 6,19  | 39,03 ± 5,66 | 33,43 ± 5,46  | 0,001   |
| DD (mm)      |        | 32,93 ± 6,06  | 35,33 ± 5,67 | 29,81 ± 5,13  | 0,001   |
| AD<br>(mm)   | desno  | 40,79 ± 6,02  | 43,95 ± 4,73 | 36,70 ± 5,02  | < 0,001 |
|              | lijevo | 41,34 ± 6,07  | 44,23 ± 5,42 | 37,59 ± 4,74  | < 0,001 |
| AB<br>(mm)   | desno  | 15,93 ± 4,18  | 17,34 ± 4,19 | 14,09 ± 3,46  | 0,008   |
|              | lijevo | 16,30 ± 4,00  | 17,30 ± 4,13 | 15,00 ± 3,50  | 0,036   |
| CD<br>(mm)   | desno  | 12,91 ± 2,46  | 13,67 ± 2,47 | 11,91 ± 2,11  | 0,008   |
|              | lijevo | 13,19 ± 2,39  | 13,87 ± 2,57 | 12,30 ± 1,84  | 0,026   |
| BE<br>(mm)   | desno  | 35,02 ± 6,28  | 38,88 ± 4,78 | 30,01 ± 4,07  | < 0,001 |
|              | lijevo | 34,61 ± 6,32  | 38,66 ± 4,81 | 29,35 ± 3,57  | < 0,001 |
| CF<br>(mm)   | desno  | 30,27 ± 4,99  | 33,21 ± 3,53 | 26,46 ± 3,92  | < 0,001 |
|              | lijevo | 29,79 ± 4,86  | 32,62 ± 3,44 | 26,12 ± 3,92  | < 0,001 |
| EF (mm)      |        | 17,02 ± 3,33  | 18,64 ± 2,95 | 14,91 ± 2,56  | < 0,001 |
| BC<br>(mm)   | desno  | 11,96 ± 3,67  | 12,94 ± 3,52 | 10,70 ± 3,56  | 0,027   |
|              | lijevo | 11,84 ± 3,67  | 13,05 ± 2,44 | 10,27 ± 3,63  | 0,002   |
| $\alpha$ (°) |        | 76,53 ± 12,26 | 70,83 ± 8,70 | 83,94 ± 12,42 | < 0,001 |

### 5.2.2. Morfološka razdioba uzoraka

Kao ni ostale strukture u tijelu ni štitna hrskavica nije potpuno simetrična. U nekih uzoraka ta asimetrija je jače izražena, osobito u nekim parametrima. Koeficijent simetričnosti odredili smo kao razlomak između vrijednosti parametra desne i lijeve strane: stražnje visine štitne hrskavice (AD) i gornje (BE) i donje širine štitne hrskavice (CF). Kao asimetrične karakterizirali smo parametre u kojima postoji razlika desne i lijeve strane veća od 10%.

Na osnovi omjera razmaka gornjih, odnosno donjih rogova, pri vrhu i pri bazi, svaki par rogova okarakterizirali smo kao konvergentan ili divergentan. Divergentni rogovi su oni kod kojih je razmak između rogova veći pri vrhu nego pri bazi, a konvergentni oni kod kojih je razmak između rogova manji pri vrhu nego pri bazi.



### 5.2.3. Razdioba štitne hrskavice po morfološkom tipu

Tablica 5.3. prikazuje zastupljenost asimetričnih štitnih hrskavica prema mjestu asimetrije ovisno o spolu. Asimetrija je češće prisutna u vertikalnih nego u horizontalnih parametara kod oba spola. Razdiobu asimetričnih hrskavica među spolovima je homogena što smo provjerili  $\chi^2$  testom ( $p=1,0$ ).

**Tablica 5.3. Zastupljenost asimetričnih oblika štitne hrskavice**

|                    | N/% (ukupan broj uzoraka i postotna zastupljenost) |      | N/% muški |      | N/% ženski |      |
|--------------------|--|------|-----------|------|------------|------|
| Simetrični         | 31   | 67%  | 18        | 69%  | 13         | 65%  |
| Asimetrični        | 15   | 33%  | 8         | 31%  | 7          | 35%  |
| Asimetrija visine* | 10   | 22%  | 5         | 19%  | 5          | 25%  |
| Asimetrija širine* | 6  | 13%  | 4         | 15%  | 2          | 10%  |
| Ukupno             | 46   | 100% | 26        | 100% | 20         | 100% |

\* u jednom slučaju bila je prisutna i asimetrija visine i širine štitne hrskavice

U Tablici 5.4. prikazana je zastupljenost konvergencije, odnosno divergencije gornjih i donjih rogova u ovisnosti o spolu. Gornji rogovi češće divergiraju od donjih te su gornji rogovi nešto češće divergentni kod žena, a donji kod muškaraca.

**Tablica 5.4. Zastupljenost konvergencije i divergencije gornjih i donjih rogova štitne hrskavice**

|              | N/% ukupno    |              | N/% muški     |              | N/% ženski    |              |
|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
|              | Gornji rogovi | Donji rogovi | Gornji rogovi | Donji rogovi | Gornji rogovi | Donji rogovi |
| Konvergentni | 36 78%        | 44 96%       | 24 92%        | 24 92%       | 12 60%        | 20 100%      |
| Divergentni  | 10 22%        | 2 4%         | 2 8%          | 2 8%         | 8 40%         | 0 0%         |
| Ukupno       | 46 100%       | 46 100%      | 26 100%       | 26 100%      | 20 100%       | 20 100%      |

U Tablici 5.5. prikazani su dimenzijski pokazatelji štitnih hrskavica u ovisnosti o simetričnosti. Iz tablice je vidljivo kako ne postoji statistički značajna razlika među mjerenim dimenzijskim pokazateljima između simetričnih i asimetričnih štitnih hrskavica.

**Tablica 5.5. Dimenzije štitnih hrskavica ovisno o simetričnosti**

|              |        | Simetrične    | Asimetrične  | p     |
|--------------|--------|---------------|--------------|-------|
| AA (mm)      |        | 38,45 ± 8,92  | 40,09 ± 6,00 | 0,582 |
| BB (mm)      |        | 42,19 ± 7,89  | 42,94 ± 5,49 | 0,788 |
| CC (mm)      |        | 36,20 ± 6,62  | 37,41 ± 5,28 | 0,482 |
| DD (mm)      |        | 32,72 ± 6,59  | 33,38 ± 4,98 | 0,682 |
| AD<br>(mm)   | desno  | 41,05 ± 6,48  | 40,26 ± 5,13 | 0,590 |
|              | lijevo | 41,35 ± 6,20  | 41,32 ± 6,00 | 0,953 |
| AB<br>(mm)   | desno  | 16,27 ± 4,44  | 15,21 ± 3,61 | 0,405 |
|              | lijevo | 15,90 ± 4,09  | 17,14 ± 3,81 | 0,331 |
| CD<br>(mm)   | desno  | 12,71 ± 2,32  | 13,31 ± 2,78 | 0,446 |
|              | lijevo | 13,29 ± 2,35  | 12,97 ± 2,54 | 0,815 |
| BE<br>(mm)   | desno  | 34,75 ± 6,59  | 35,58 ± 5,75 | 0,656 |
|              | lijevo | 34,24 ± 6,46  | 35,39 ± 6,18 | 0,367 |
| CF<br>(mm)   | desno  | 29,64 ± 4,98  | 31,59 ± 4,90 | 0,143 |
|              | lijevo | 29,75 ± 5,12  | 29,87 ± 4,45 | 0,953 |
| EF (mm)      |        | 16,86 ± 3,41  | 17,35 ± 3,25 | 0,752 |
| BC<br>(mm)   | desno  | 12,07 ± 3,42  | 11,74 ± 4,27 | 0,708 |
|              | lijevo | 12,15 ± 3,34  | 11,20 ± 3,22 | 0,426 |
| $\alpha$ (°) |        | 76,96 ± 13,55 | 75,64 ± 9,42 | 0,770 |

U Tablici 5.6. prikazani su dimenzijski pokazatelji štitnih hrskavica u ovisnosti o usmjerenosti gornjih rogova. Kako je broj štitnih hrskavica s divergentnim donjim rogovima praktički zanemariv, razdiobu parametara u ovisnosti o njima nismo posebno razmatrali.

**Tablica 5.6. Dimenzije štitnih hrskavica ovisno o usmjerenosti gornjih rogova**

|              |        | Konvergentni  | Divergentni   | p     |
|--------------|--------|---------------|---------------|-------|
| AA (mm)      |        | 37,57 ± 8,12  | 44,23 ± 5,38  | 0,017 |
| BB (mm)      |        | 42,78 ± 7,61  | 41,17 ± 5,25  | 0,497 |
| CC (mm)      |        | 37,06 ± 6,50  | 34,91 ± 4,79  | 0,226 |
| DD (mm)      |        | 33,53 ± 6,46  | 30,80 ± 3,79  | 0,174 |
| AD<br>(mm)   | desno  | 42,03 ± 5,67  | 36,36 ± 5,34  | 0,007 |
|              | lijevo | 42,79 ± 5,55  | 36,13 ± 5,08  | 0,003 |
| AB<br>(mm)   | desno  | 16,83 ± 4,09  | 12,79 ± 2,73  | 0,006 |
|              | lijevo | 17,28 ± 3,85  | 12,77 ± 2,19  | 0,002 |
| CD<br>(mm)   | desno  | 13,09 ± 2,60  | 12,26 ± 1,82  | 0,236 |
|              | lijevo | 13,50 ± 2,33  | 12,06 ± 2,38  | 0,126 |
| BE<br>(mm)   | desno  | 36,26 ± 6,44  | 30,57 ± 2,74  | 0,019 |
|              | lijevo | 35,64 ± 6,22  | 30,92 ± 5,50  | 0,072 |
| CF<br>(mm)   | desno  | 31,28 ± 4,92  | 26,65 ± 3,36  | 0,005 |
|              | lijevo | 30,71 ± 4,84  | 26,50 ± 3,43  | 0,028 |
| EF (mm)      |        | 17,33 ± 3,27  | 15,92 ± 3,50  | 0,231 |
| BC<br>(mm)   | desno  | 12,12 ± 3,67  | 11,41 ± 3,84  | 0,632 |
|              | lijevo | 12,01 ± 3,40  | 11,25 ± 2,95  | 0,275 |
| $\alpha$ (°) |        | 74,22 ± 11,91 | 84,82 ± 10,14 | 0,013 |

Iz tablice je vidljivo da kod razmaka među rogovima štitne hrskavice na različitim mjestima statistički značajna razlika postoji samo u razmaku između vrhova gornjih rogova (AA). Izrazita statistički značajna razlika postoji između stražnjih visina štitnih hrskavica (AD) i dužina gornjih rogova (AB). Između dužina donjih rogova (CD), prednje visine štitne hrskavice (EF) i stražnje visine ploče štitne hrskavice (BC) nije uočena statistički značajna razlika. Kod gornje (BE) i donje širine štitne hrskavice (CF) razlike su izražajnije na lijevoj strani i kod oba pokazatelja su statistički značajne, dok je na desnoj strani razlika statistički značajna samo kod donje širine štitne hrskavice, a kod gornje nije. Također, postoji statistički značajna razlika u veličini tiroidnog kuta ( $\alpha$ ) između konvergentnih i divergentnih štitnih hrskavica.

U Tablici 5.7. prikazani su dimenzijski pokazatelji štitnih hrskavica kod različitim dobnih skupina. Statistički značajna razlika uočena je u razmaku baza gornjih (BB) i donjih rogova (CC) između prve (15-30 godina) i druge (31-50 godina) te druge i treće (51-70 godina) dobne skupine, te u razmaku vrhova donjih rogova (DD) između prve i druge donje skupine. Statistički značajna razlika postoji i između dužina lijevog donjeg roga (CD) prve i druge dobne skupine, dok je razlika granične značajnosti između dužine lijevog donjeg roga druge i treće te prve i treće dobne skupine, kao i stražnje visine ploče štitne hrskavice (AD) između druge i treće dobne skupine. Statistički je značajna razlika i gornje širine štitne hrskavice (BE) između druge i treće dobne skupine, te donje širine štitne hrskavice (CF) između druge i četvrte (71-90) dobne skupine, dok je između prve i druge dobne skupine značajna razlika donje širine štitne hrskavice uočena samo s lijeve strane. Nije uočena statistički značajna dobna razlika razmaka vrhova gornjih rogova (AA), visine gornjih rogova (AB), prednje visine štitne hrskavice (EF), stražnje visine ploče štitne hrskavice (BC) i tiroidnog kuta ( $\alpha$ ).

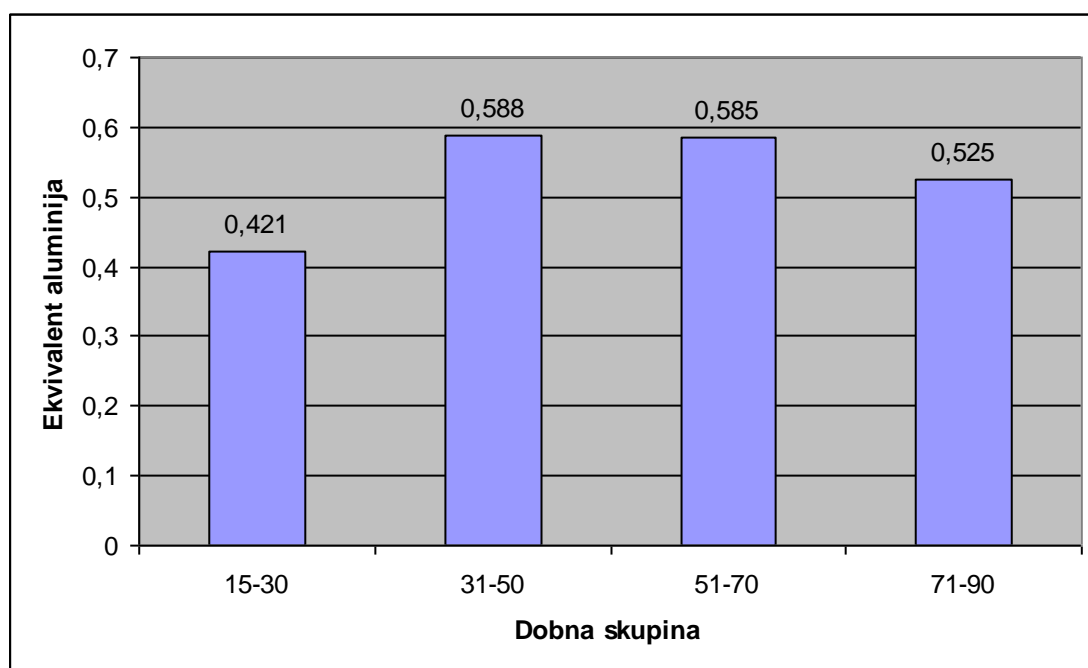
**Tablica 5.7. Dimenzije štitnih hrskavica ovisno o dobi ispitanika**

| Dob          |        | 15-30 | 31-50 | 51-70 | 71-90 | p 1/2        | p 1/3        | p 1/4        | p 2/3        | p 2/4        | p 3/4 |
|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| AA (mm)      |        | 32,81 | 44,20 | 37,91 | 39,44 | 0,055        | 0,167        | 0,088        | 0,138        | 0,253        | 0,559 |
| BB (mm)      |        | 40,27 | 48,30 | 41,32 | 41,93 | <b>0,033</b> | 0,832        | 0,722        | <b>0,026</b> | 0,083        | 0,746 |
| CC (mm)      |        | 33,81 | 41,45 | 35,59 | 36,42 | <b>0,019</b> | 0,524        | 0,286        | <b>0,026</b> | 0,083        | 0,508 |
| DD (mm)      |        | 30,46 | 36,70 | 32,00 | 32,95 | <b>0,019</b> | 0,594        | 0,394        | 0,058        | 0,263        | 0,638 |
| AD<br>(mm)   | Desno  | 39,02 | 44,04 | 39,25 | 41,21 | 0,201        | 0,915        | 0,394        | 0,058        | 0,614        | 0,390 |
|              | Lijevo | 37,82 | 45,17 | 40,61 | 41,40 | 0,136        | 0,524        | 0,320        | <b>0,048</b> | 0,240        | 0,516 |
| AB<br>(mm)   | Desno  | 18,42 | 14,62 | 15,68 | 15,99 | 0,286        | 0,243        | 0,286        | 0,680        | 0,433        | 0,770 |
|              | Lijevo | 15,99 | 18,49 | 15,74 | 16,12 | 0,670        | 0,595        | 0,915        | 0,161        | 0,218        | 0,673 |
| CD<br>(mm)   | desno  | 11,39 | 14,66 | 12,12 | 13,20 | 0,109        | 0,595        | 0,155        | 0,063        | 0,370        | 0,183 |
|              | Lijevo | 10,38 | 14,46 | 13,29 | 13,29 | <b>0,019</b> | <b>0,049</b> | <b>0,047</b> | 0,265        | 0,287        | 0,922 |
| BE<br>(mm)   | desno  | 33,48 | 39,96 | 34,01 | 34,60 | 0,088        | 1,000        | 0,722        | <b>0,032</b> | 0,083        | 0,758 |
|              | Lijevo | 33,72 | 40,09 | 34,11 | 33,60 | 0,088        | 0,832        | 0,915        | <b>0,021</b> | 0,057        | 0,846 |
| CF<br>(mm)   | desno  | 30,05 | 34,26 | 29,99 | 29,41 | 0,394        | 0,750        | 0,722        | 0,161        | <b>0,033</b> | 0,770 |
|              | Lijevo | 28,69 | 34,00 | 29,60 | 28,97 | <b>0,033</b> | 0,915        | 1,000        | 0,099        | <b>0,023</b> | 0,673 |
| EF (mm)      |        | 15,36 | 19,35 | 17,08 | 16,65 | 0,136        | 0,339        | 0,434        | 0,216        | 0,093        | 0,846 |
| BC<br>(mm)   | desno  | 9,22  | 14,74 | 11,46 | 12,01 | 0,088        | 0,339        | 0,136        | 0,108        | 0,117        | 0,758 |
|              | Lijevo | 1,46  | 12,22 | 11,59 | 11,97 | 0,394        | 1,000        | 0,722        | 0,805        | 0,955        | 0,884 |
| $\alpha$ (°) |        | 74,87 | 75,74 | 75,10 | 77,96 | 0,522        | 0,915        | 0,722        | 0,621        | 0,695        | 0,721 |

### 5.3. Utvrđivanje mineralizacije štitne hrskavice računalnim metodama

#### 5.3.1. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o dobi ispitanika

Slika 5.1 prikazuje mineralizaciju štitnih hrskavica prema pojedinim dobnim skupinama izračunatu na osnovi intenziteta boje hrskavice i aluminijskog etalona na skeniranim rendgenskim snimkama i izražena kao ekvivalent aluminija. Stupanj mineralizacije izražen tom metodom bio je najveći u srednjim dobnim skupinama, a nešto niži u najmlađoj i najstarijoj dobnj skupini. Razlika je bila statistički značajna samo između najmlađe i ostalih skupina ( $p < 0,05$ ).



**Slika 5.1. Prosječna mineralizacija štitnih hrskavica u pojedinim dobnim skupinama izražena kao ekvivalent aluminija**

### 5.3.2. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o spolu

U Tablici 5.8. prikazana je prosječna mineralizacija štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu izražena kao ekvivalent aluminija. Hrskavice osoba podrijetlom od muškog spola bile su prosječno jače mineralizirane od ženskih.

**Tablica 5.8 Mineralizacija štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu**

| Mineralizacija<br>(ekvivalent Al) | Ukupno            | Muški             | Ženski            | p     |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
|                                   | $0,543 \pm 0,105$ | $0,577 \pm 0,104$ | $0,498 \pm 0,091$ | 0,006 |

### 5.3.3 Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o morfološkom tipu

U Tablici 5.9. prikazana je mineralizacija štitne hrskavice izražena kao ekvivalent aluminija ovisno o simetričnosti štitne hrskavice, a u Tablici 5.10 ovisno o usmjerenju gornjih rogova. Nije uočena statistički značajna razlika između simetričnih i asimetričnih hrskavica, dok su konvergentne hrskavice bile prosječno jače mineralizirane od divergentnih.

**Tablica 5.9. Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o simetričnosti**

| Mineralizacija<br>(ekvivalent Al) | Ukupno            | Simetrično        | Asimetrično       | p     |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
|                                   | $0,543 \pm 0,105$ | $0,539 \pm 0,112$ | $0,550 \pm 0,093$ | 0,860 |



**Tablica 5.10. Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o usmjerenju gornjih rogova**

| Mineralizacija<br>(ekvivalent Al) | Ukupno            | Konvergentni      | Divergentni       | p     |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
|                                   | $0,543 \pm 0,105$ | $0,563 \pm 0,100$ | $0,470 \pm 0,095$ | 0,013 |

#### 5.3.4. Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja

Tablica 5.11. prikazuje mineralizaciju štitne hrskavice izraženu kao ekvivalent aluminija ovisno o načinu pucanja. Hrsravice koje su pucale složenim načinom bila su prosječno jače mineralizirane od onih koje su pucale jednostavnim načinom.

**Tablica 5.11. Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja**

| Mineralizacija<br>(ekvivalent Al) | Ukupno            | Jednostavno       | Složeno           | p     |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
|                                   | $0,543 \pm 0,105$ | $0,507 \pm 0,102$ | $0,594 \pm 0,089$ | 0,005 |

## 5.4. Utvrđivanje žilavosti štitne hrskavice

### 5.4.1. Razdioba štitnih hrskavica ovisno o načinu pucanja

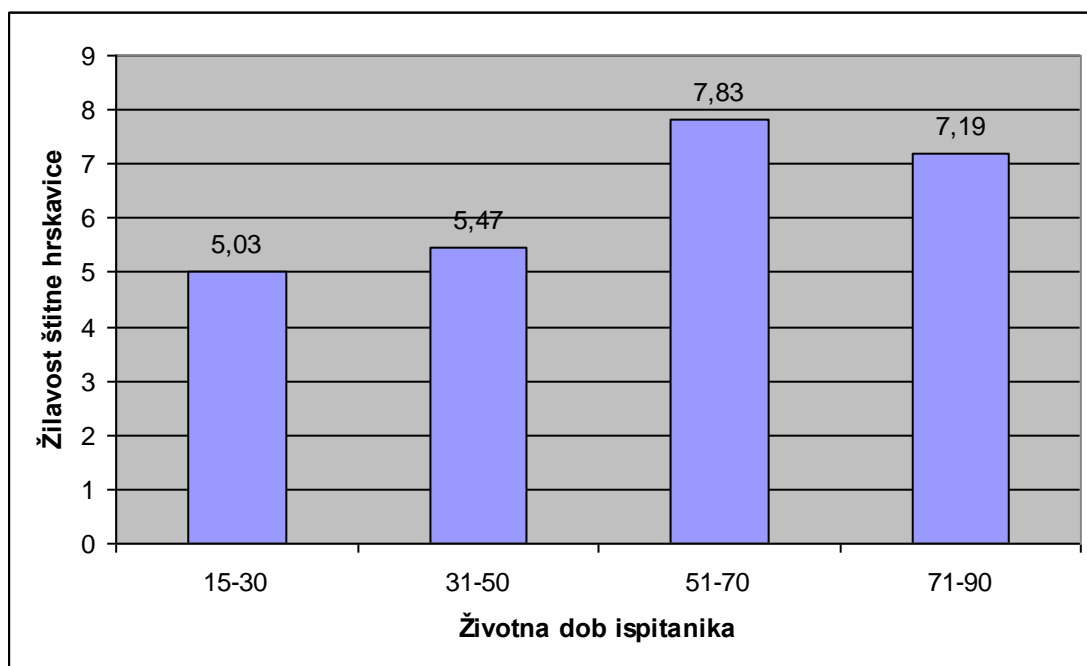
Nakon provedenog lomljenja štitnih hrskavica na za to posebno konstruiranom stroju, kao trenutak pucanja hrskavice uzeli smo trenutak u kojem je postignuta značajna razlika pomaka mjenog u dvije uzastopne sekunde. Silu pri kojoj se to dogodilo, okarakterizirali smo kao silu koja dovodi do pucanja hrskavice. I dok kod nekih hrskavica postoji samo jedna značajna razlika pomaka, kod drugih je vidljivo dva ili više većih razlika pomaka te je kao stvarni trenutak pucanja hrskavice uzet onaj u kojem je postignuta prva značajna razlika pomaka, a sam način pucanja okarakteriziran je kao jednostavan (u prvom slučaju) ili kao složen (u drugom slučaju). Jednostavnim načinom puklo je 27 hrskavica (58,7%), a složenim 19 hrskavica (41,3%). Premda su ženske hrskavice pucale pretežno jednostavnim načinom,  $\chi^2$  testom nije utvrđena statistički značajna razlika u distribuciji između spolova ( $\chi^2 = 3,275$ ,  $p=0,07$ ) (Tablica 5.12).

**Tablica 5.12.** Razdioba uzoraka u ovisnosti o načinu pucanja i spolu

|        | Jednostavno pucanje | Složeno pucanje | Ukupno    |
|--------|---------------------|-----------------|-----------|
| Muški  | 12 (46,2%)          | 14 (54,8%)      | 26 (100%) |
| Ženski | 15 (75%)            | 5 (25%)         | 20 (100%) |
| Ukupno | 27 (58,7%)          | 19 (41,3%)      | 46 (100%) |

#### 5.4.2. Žilavost štitne hrskavice u ovisnosti o dobi ispitanika

Žilavost je izmjerena na posebno konstruiranom uređaju za lom štitnih hrskavica i izražena u  $J/m^2 \cdot 10^3$ . Prosječna žilavost štitnih hrskavica u ovisnosti o dobi prikazana je na slici 5.2. Osobe starije životne dobi imale su veću prosječnu žilavost, ali bez statistički značajne razlike među dobnim skupinama.



**Slika 5.2. Prosječna žilavost štitnih hrskavica u pojedinim dobnim skupinama izražena u  $J/m^2 \cdot 10^3$**

#### 5.4.3. Žilavost štitne hrskavice u ovisnosti o spolu

U Tablici 5.13. prikazana je žilavost štitnih hrskavica ovisno o spolu ispitanika. Štitne hrskavice podrijetlom od osoba muškog spola imaju prosječno veću žilavost od štitnih hrskavica podrijetlom od osoba ženskog spola, ali bez statistički značajnosti.

**Tablica 5.13.** Žilavost štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu ispitanika

| Žilavost<br>(J/m <sup>2</sup> *10 <sup>3</sup> ) | Ukupno      | Muško       | Žensko      | p    |
|--|-------------|-------------|-------------|------|
|  | 6,98 ± 7,19 | 7,69 ± 6,26 | 6,05 ± 8,42 | 0,24 |

#### 5.4.4. Žilavost štitne hrskavice u ovisnosti o morfološkom tipu

Tablica 5.14. prikazuje žilavost štitne hrskavice ovisno o simetričnosti štitne hrskavice, a Tablica 5.15. ovisno o usmjerenju gornjih rogova. Nije uočena statistički značajna razlika ni u jednom ni u drugom paru klasifikacijskih parametara, premda je žilavost nešto veća kod simetričnih štitnih hrskavica.

**Tablica 5.14.** Žilavost štitne hrskavice ovisno o simetričnosti

| Žilavost<br>(J/m <sup>2</sup> *10 <sup>3</sup> ) | Ukupno      | Simetrično  | Asimetrično | p     |
|--|-------------|-------------|-------------|-------|
|  | 6,98 ± 7,19 | 8,00 ± 8,01 | 4,85 ± 4,35 | 0,103 |

**Tablica 5.15. Žilavost štitne hrskavice ovisno o usmjerenju gornjih rogova**

| Žilavost<br>(J/m <sup>2</sup> *10 <sup>3</sup> ) | Ukupno      | Konvergentni | Divergentni  | p     |
|--|-------------|--------------|--------------|-------|
|  | 6,98 ± 7,19 | 6,88 ± 5,85  | 7,32 ± 11,18 | 0,558 |

#### 5.4.5. Žilavost štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja

Odnos žilavosti i načina pucanja prikazan je u Tablici 5.16. Vidljivo je kako postoji izrazita statistički značajna razlika u žilavosti ovisno o načinu pucanja. Hrskavice koje su pukle jednostavnim načinom imaju značajno veću prosječnu žilavost od onih koje su pukle složenim načinom.

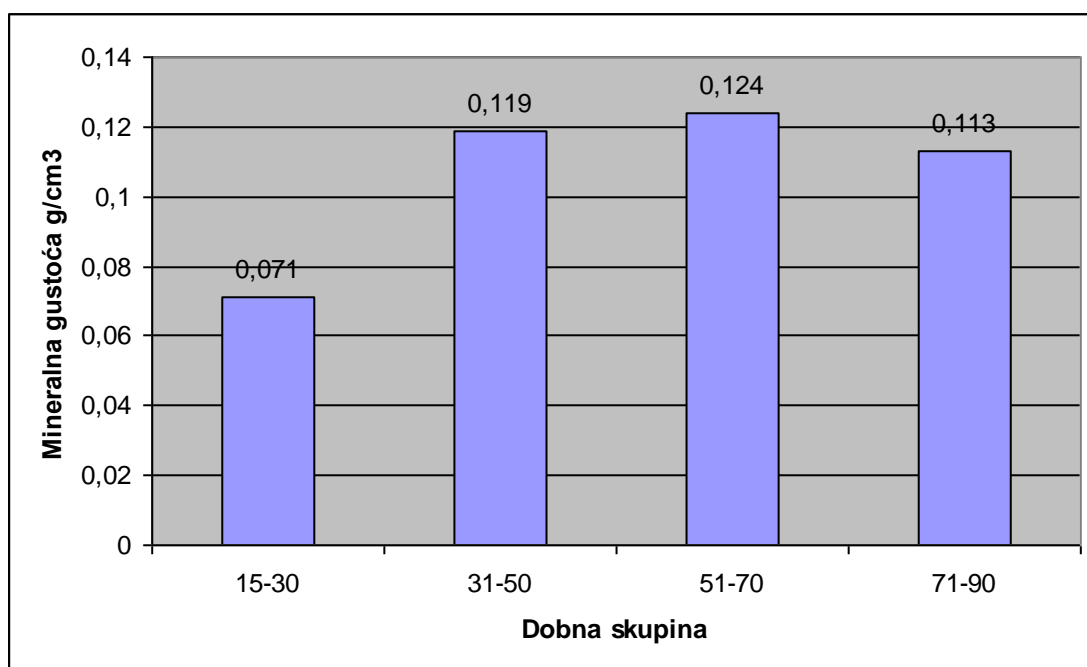
**Tablica 5.16. Žilavost štitnih hrskavica u ovisnosti o načinu pucanja**

| Žilavost<br>(J/m <sup>2</sup> *10 <sup>3</sup> ) | Ukupno      | Jednostavno | Složeno     | p       |
|--|-------------|-------------|-------------|---------|
|  | 6,98 ± 7,19 | 9,71 ± 8,23 | 3,09 ± 2,00 | < 0,001 |

## 5.5. Utvrđivanje mineralizacije štitne hrskavice metodom žarenja

### 5.5.1. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o dobi ispitanika

Na Slici 5.3. prikazana je mineralizacija štitne hrskavice u pojedinim dobnim skupinama izračunata kao omjer mase pepela štitne hrskavice preostalog nakon žarenja i volumena štitne hrskavice izraženog u  $\text{g/cm}^3$ . Vidljivo je kako je mineralizacija štitne hrskavice slabija u najmlađoj dobnj skupini, ali bez statistički značajne razlike.



**Slika 5.3. Prosječna mineralna gustoća štitnih hrskavica u pojedinim dobnim skupinama izražena u  $\text{g/cm}^3$**

### 5.5.2. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o spolu

U Tablici 5.17. prikazana je prosječna mineralizacija štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu. Štitne hrskavice osoba muškog spola bile su prosječno jače mineralizirane od hrskavica ženskog spola.

**Tablica 5.17. Mineralizacija štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu**

| Mineralizacija<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Ukupno        | Muško         | Žensko        | p     |
|--|---------------|---------------|---------------|-------|
|  | 0,113 ± 0,040 | 0,125 ± 0,041 | 0,098 ± 0,033 | 0,002 |

### 5.5.3 Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o morfološkom tipu

U Tablici 5.18. prikazana je prosječna mineralizacija štitne hrskavice ovisno o simetričnosti štitne hrskavice, a u Tablici 5.19. ovisno o usmjerenju gornjih rogova. Nije pronađena razlika u mineralizaciji između simetričnih i asimetričnih hrskavica. Statistički značajna razlika u mineralizaciji pronađena je između konvergentnih i divergentnih hrskavica pri čemu su konvergentne bile jače mineralizirane.

**Tablica 5.18. Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o simetričnosti**

| Mineralizacija<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Ukupno        | Simetrično    | Asimetrično   | p     |
|--|---------------|---------------|---------------|-------|
|  | 0,113 ± 0,040 | 0,110 ± 0,037 | 0,112 ± 0,046 | 0,432 |

**Tablica 5.19. Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o usmjerenju gornjih rogova**

| Mineralizacija<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Ukupno        | Konvergentni  | Divergentni   | p     |
|--|---------------|---------------|---------------|-------|
|  | 0,113 ± 0,040 | 0,122 ± 0,039 | 0,083 ± 0,029 | 0,006 |

#### 5.5.4. Mineralizacija štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja

U Tablici 5.20. prikazana je mineralizacija štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja. Hrsravice koje su pucale složenim načinom bile su prosječno jače mineralizirane od onih koje su pucale jednostavnim načinom.

**Tablica 5.20. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o načinu pucanja**

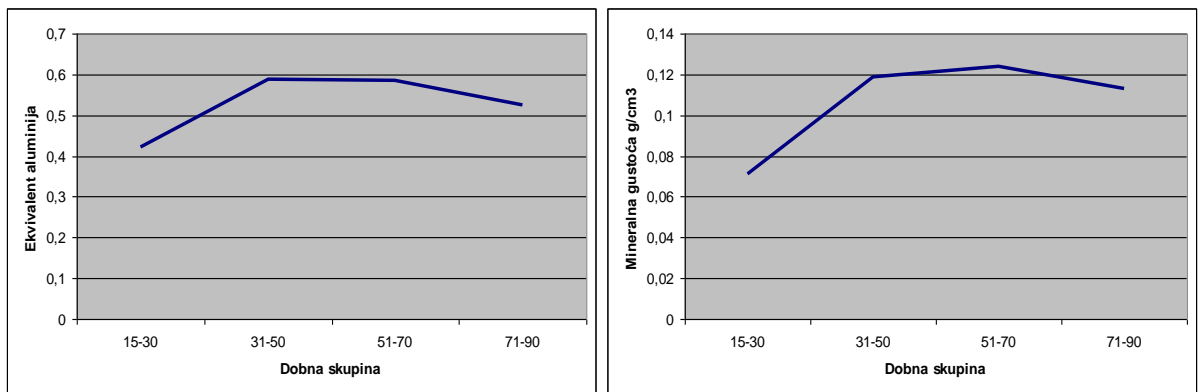
| Mineralizacija<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Ukupno        | Jednostavno   | Složeno       | p     |
|--|---------------|---------------|---------------|-------|
|  | 0,113 ± 0,040 | 0,102 ± 0,038 | 0,130 ± 0,037 | 0,015 |



## 5.6. Usporedba dviju metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica

### 5.6.1. Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica u ovisnosti o dobi ispitanika

Na Slici 5.4. prikazana je mineralizacija štitnih hrskavica u pojedinim dobnim skupinama izražena kao ekvivalent aluminija te izračunata kao omjer mase pepela štitne hrskavice preostalog nakon žarenja i volumena hrskavice, izražena u  $\text{g/cm}^3$ . Na osnovi oblika krivulje vidljiv je jednak dobni trend kretanja mineralizacije.



**Slika 5.4. Usporedba dviju metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica na osnovi dobne distribucije**

### 5.6.2. Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica u ovisnosti o spolu

U Tablici 5.21. prikazana je prosječna mineralizacija štitnih hrskavica izražena kao ekvivalent aluminijske te izračunata kao omjer mase pepela štitne hrskavice preostalog nakon žarenja i volumena hrskavice, izražena u  $\text{g/cm}^3$ , u ovisnosti o spolu. Objema metodama pronađena je statistički značajna razlika u mineralizaciji te su hrskavice podrijetlom od osoba muškog spola bile prosječno jače mineralizirane.

**Tablica 5.21. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o spolu**

| Mineralizacija      | Ukupno            | Muško             | Žensko            | p     |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Ekvivalent Al       | $0,543 \pm 0,105$ | $0,577 \pm 0,104$ | $0,498 \pm 0,091$ | 0,006 |
| ( $\text{g/cm}^3$ ) | $0,113 \pm 0,040$ | $0,125 \pm 0,041$ | $0,098 \pm 0,033$ | 0,002 |

### 5.6.3 Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavice ovisno o morfološkom tipu

U Tablici 5.22. prikazana je prosječna mineralizacija štitnih hrskavica izražena kao ekvivalent aluminijske te izračunata kao omjer mase pepela štitne hrskavice zaostalog nakon žarenja i volumena hrskavice, izražena u  $\text{g/cm}^3$ , ovisno o simetričnosti štitne hrskavice, a u Tablici 5.22. ovisno o usmjerenju gornjih rogova. Obje metode potvrdile su nedostatak statistički značajne razlike simetričnih i asimetričnih štitnih hrskavica, a pronađena je statistički značajna razlika u mineralnoj gustoći konvergentnih i divergentnih hrskavica.

**Tablica 5.22. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o simetričnosti štitnih hrskavica**

| Mineralizacija       | Ukupno            | Simetrično        | Asimetrično       | p     |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Ekvivalent Al        | $0,543 \pm 0,105$ | $0,539 \pm 0,112$ | $0,550 \pm 0,093$ | 0,860 |
| (g/cm <sup>3</sup> ) | $0,113 \pm 0,040$ | $0,110 \pm 0,037$ | $0,112 \pm 0,046$ | 0,432 |

**Tablica 5.23. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o usmjerenosti gornjih rogova**

| Mineralizacija       | Ukupno            | Konvergentni      | Divergentni       | p     |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Ekvivalent Al        | $0,543 \pm 0,105$ | $0,563 \pm 0,100$ | $0,470 \pm 0,095$ | 0,013 |
| (g/cm <sup>3</sup> ) | $0,113 \pm 0,040$ | $0,122 \pm 0,039$ | $0,083 \pm 0,029$ | 0,006 |

#### 5.6.4. Usporedba metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica ovisno o načinu pucanja

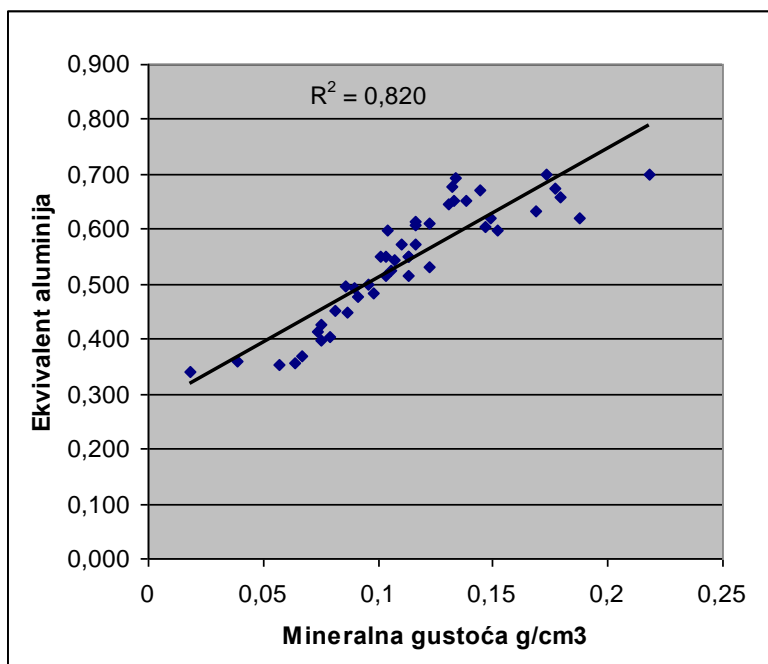
Tablica 5.24. pokazuje usporedne rezultate dviju metoda utvrđivanja mineralizacije štitnih hrskavica ovisno o načinu pucanja. Objema metodama utvrđena je statistički značajna razlika u mineralizaciji ovisno o načinu pucanja, pri čemu su hrskavice koje su pucale složenim načinom bile prosječno jače mineralizirane.

**Tablica 5.24. Mineralizacija štitne hrskavice u ovisnosti o načinu pucanja**

| Mineralizacija       | Ukupno        | Jednostavno   | Složeno       | p     |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| Ekvivalent Al        | 0,543 ± 0,105 | 0,507 ± 0,102 | 0,594 ± 0,089 | 0,005 |
| (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,113 ± 0,040 | 0,102 ± 0,038 | 0,130 ± 0,037 | 0,015 |

*5.6.5. Korelacija između metoda utvrđivanja mineralizacije*

Konačno smo odredili korelaciju između dviju metoda određivanja mineralizacije (Slika 5.5). Utvrđeno je postojanje snažne korelacije između korištenih metoda utvrđivanja mineralne gustoće štitne hrskavice ( $r=0,905$ ,  $p < 0,001$ ).



**Slika 5.5. Korelacija između metoda određivanja mineralne gustoće štitne hrskavice**

## **6. RASPRAVA**

### **6.1. Rasprava o temi**

Štitna hrskavica čini najveći dio građevnog temelja grkljana i daje stabilnost tom dijelu dišnog sustava. Dajući čvrst oslonac, omogućuje pomicanje drugih grkljanskih hrskavica i tako omogućuje respiraciju i zaštitu dišnog sustava, a ima neizostavnu ulogu i u fonaciji. Pripisuje joj se i forenzička važnost jer dolazi do njezinog pucanja kod strangulacije i suspenzije, pri čemu su frakture štitne hrskavice znatno češće kod manualne strangulacije, odnosno kod kriminalno povezanih smrti (5-17). Premda je dosta istraživana incidencija i mjesto prijeloma laringealnih struktura pri strangulaciji i suspenziji, eksperimentalno istraživanje fraktura štitne hrskavice izrazito je slabo zastupljeno (18,19), a ni u jednom radu ne utvrđuje se precizno sila koja dovodi do pucanja hrskavice, kao ni korelacija te sile s dobi, spolom, stupnjem i rasporedom osifikacije.

Tijekom godina dolazi do osifikacije štitne hrskavice. Osifikacija je izraženija s dobi, no ta podudarnost nije potpuna i postoje odstupanja, a ima i nekih naznaka kako je osifikacija u žena manje izražena i sporije nastupa. Smatra se da je incidencija fraktura prilikom suspenzije i strangulacije u izravnoj ovisnosti s oblikom i stupnjem mineralizacije, no također ovisi i o primijenjenoj sili, ali taj odnos nije pobliže istraživani.

Mehanička svojstva štitne hrskavice posljedica su dijelom morfoloških, a dijelom mineralizacijskih karakteristika i životne dobi.

Imajući na umu sve navedene činjenice, odlučili smo provesti kompleksnu analizu strukture i čvrstoće štitne hrskavice.

## **6.2. Rasprava o materijalima i metodama**

### *6.2.1. Uzorak*

S obzirom na to da umjetni materijali ne mogu vjerno oponašati oblik ni mehanička svojstva štitne hrskavice, odlučili smo istraživanje provesti na kadaveričnom materijalu.

Prilikom odabira uzorka bile su zastupljene štitne hrskavice svih dobnih kategorija i oba spola. Iako su uzorci bili pretežno podrijetlom od osoba starije životne dobi, statističkim metodama utvrdili smo da je uzorak homogene dobno-spolne strukture.

Uz homogenu dobno-spolnu strukturu nastojali smo standardnom metodologijom pripremiti kadaverične uzorke kako bi morfometrijska i biomehanička istraživanja bila što pouzdanija. Na taj smo način kadaverične preparate pripremili u skladu s aktualnim trendovima fiksacije bioloških materijala.

Štitne hrskavice smo nakon čišćenja i fiksiranja zamrznuli i čuvali u zamrzivaču na  $-20^{\circ}\text{C}$  te smo ih prije provođenja pokusa odmrznuli u hladnjaku pri temperaturi  $2-4^{\circ}\text{C}$ . Kako nema razlike u mehaničkim karakteristikama između svježih i zamrznutih hrskavičnih preparata, na taj su način mehaničke karakteristike naših preparata ostale najslabije svježim uzorcima.

### *6.2.2. Morfometrija štitne hrskavice*

Iako je morfometrija štitne hrskavice dosta istraživana, do sada nije provedena morfometrijska analiza štitne hrskavice koja bi zajednički obuhvatila sve morfometrijske parametre koji opisuju štitnu hrskavicu. Definirali smo 12 morfometrijskih parametara koji detaljno opisuju morfometriju štitne hrskavice i tako stvorili vlastiti obrazac morfometrijske analize. Na taj način je omogućeno da sva mjerenja budu standardizirana i svi uzorci izmjereni na isti način. Mjerenja su provedena digitalnim kaliperom s preciznošću  $0,03\text{ mm}$  i optičkim goniometrom s preciznošću  $0,08^{\circ}$ . Reproducibilnost metode utvrđena je ponovljenim mjerenjima istih uzoraka.

### *6.2.3. Rendgensko oslikavanje štitne hrskavice*

Uz standardne metode određivanja mineralne gustoće cilj nam je bio utvrditi alternativne metode utvrđivanja stupnja osifikacije i razviti metodu koja nije destruktivna kako bi se isti uzorci mogli koristiti u daljnjem istraživanju. Prvi korak u ovoj metodi bio je rendgensko oslikavanje štitnih hrskavica. Slikanje je na dijelu uzoraka provedeno rendgenskim zrakama različite prodornosti čime smo definirali optimalnu prodornost koja omogućuje grafičke analize svih dijelova štitne hrskavice, kao i valjaka aluminijskog etalona. Svi uzorci slikani su u strogo standardiziranim uvjetima na istom mamografskom uređaju, jednakom rendgenskom filmu, s jednakom žarišnom udaljenošću i prodornošću rendgenskih zraka.

### *6.2.4. Računalna obrada rendgenskih slika štitne hrskavice*

Mineralna gustoća štitne hrskavice bila je određena dvjema različitim metodama na istom uzorku. Na taj smo način međusobnom usporedbom metoda uspjeli dobiti ne samo preciznije podatke o mineralnoj gustoći štitnih hrskavica, nego i utvrditi njihovu pouzdanost.

Nakon rendgenskog snimanja, mineralnu gustoću štitnih hrskavica utvrdili smo grafičkom obradom skeniranih slika. Za izražavanje mineralne gustoće poslužio nam je intenzitet bijele boje, koji smo utvrdili pomoću histograma čitave štitne hrskavice (xx). Tako smo utvrdili prosječni intenzitet bijele boje rengenograma, kojim smo na osnovi intenziteta boje aluminijskog snimljenog uz hrskavicu izrazili mineralnu gustoću hrskavice kao ekvivalent aluminijskog. S obzirom na to da se ne radi o destruktivnoj metodi, reproducibilnost metode utvrdili smo ponavljanim mjerenjima. Naknadno smo usporedili dvije metode određivanja mineralne gustoće, čime smo potvrdili da je računalna metoda pouzdana za definiranje stupnjeva osifikacije.

#### 6.2.5. *Određivanje žilavosti štitnih hrskavica*

Starenjem štitne hrskavice dolazi do promjena u njezinoj građi tako što dovodi do njezine osifikacije. Mehanička svojstva hrskavice određena su svojstvima međustanične tvari, stoga se degenerativnim promjenama međustanične tvari u procesu osifikacije hrskavice, mijenjanju i njezina mehanička svojstva.

Žilavost hrskavice određena je energijom potrebnom za lom, odnosno ireverzibilnu deformaciju, određenog dijela hrskavice. Hrskavica je po svojim mehaničkim karakteristikama dvofazni materijal čije faze čine mreža vlakana matriksa i pokretljiva intersticijska tekućina. Zbog pomicanja obiju temeljnih faza pri djelovanju sile, hrskavica se ponaša viskoelastično. Pored svojstava međustanične tvari, na žilavost hrskavice utječe i način djelovanja sile.

Za ispitivanje žilavosti štitnih hrskavica koristili smo stroj izrađen i korišten za potrebe istraživanja žilavosti jezične kosti. Stroj je povezan s računalom i pomoću njega dobili smo podatke o utrošenoj sili i pomaku u trenutku loma. Na osnovi dobivenih podataka izračunali smo žilavost štitne hrskavice. Prilikom određivanja žilavosti štitne hrskavice definirali smo standardno vrijeme u kojemu se sila linearno povećavala. Na taj smo način postigli kontinuirano linearno povećanje sile, a izbjegli dinamičko djelovanje sile, čime smo dodatno pridonijeli preciznosti metode.

Kako smo istraživanje proveli na istom stroju na kojem je rađeno ispitivanje žilavosti jezične kosti, istom metodologijom, zaključili smo da su uvjeti provođenja istraživanja jednaki te da nije došlo do promjene varijabilnosti utvrđene u tom istraživanju, kada je utvrđen prosječan koeficijent varijabilnosti od  $1 \pm 0,09$ .



#### *6.2.6. Mjerenje volumena i određivanje mineralne gustoće štitne hrskavice*

Volumen štitne hrskavice utvrdili smo nakon određivanja žilavosti. Volumen smo odredili po Arhimedovom principu u menzuri porastom volumena vode nakon uranjanja ostataka štitne hrskavice. Nakon toga proveli smo žarenje štitne hrskavice te na osnovi mase ostatnog pepela i volumena hrskavice izračunali pravu mineralnu gustoću. Riječ je o standardnoj metodi u kemijsko-tehnološkoj znanosti koja se rutinski koristi u laboratorijima. Kod određivanja mineralne gustoće koristili smo se od ranije poznatim standardiziranim postupcima. Na taj način smo odredili masu ostatnog pepela te izrazili mineralnu gustoću kao omjer mase i volumena u  $\text{g/cm}^3$ .

Ispitali smo reproducibilnost metoda. Preciznost mjerenja volumena štitne hrskavice utvrdili smo ponavljanjem mjerenja, s obzirom na to da nije riječ o destruktivnoj metodi. Kako je žarenje štitne hrskavice destruktivna metoda, pouzdanost ostatne mase pepela utvrdili smo ponovljenim žarenjem mineralnih uzoraka tijekom pet sati. Nakon ponovljenog žarenja nije bilo razlike u masi s obzirom na uzorke prije ponovljenog žarenja te smo tako potvrdili da je žarenjem ostala isključivo suha mineralna masa štitne hrskavice.

### **6.3. Rasprava o rezultatima**

#### *6.3.1. Morfometrijska analiza štitne hrskavice*

Premda je morfometrija štitne hrskavice istraživana u više radova na različitim populacijama, do danas nije provedeno istraživanje koje bi u isto vrijeme obuhvatilo sve morfometrijske parametre koji opisuju štitnu hrskavicu. Nije utvrđeno postojanje bilo kakve morfometrijske klasifikacije štitne hrskavice, no utvrđeno je postojanje spolnog dimorfizma na način da su dimenzije štitnih hrskavica veće u muškaraca u odnosu na žene, dok je tiroidni kut veći u žena nego u muškaraca (4, 47-52). U našem istraživanju definirali smo 12 morfometrijskih parametara na osnovu standardnih dijelova štitne hrskavice te smo tako dimenzijski objektivizirano detaljno morfometrijski opisali štitnu hrskavicu.

Uspoređujući mjerene dimenzije između spolova, utvrdili smo jasno vidljivu prisutnost spolnog dimorfizma. Statistički značajna razlika utvrđena je u svim mjerenim vrijednostima, osim u udaljenosti vrhova gornjih rogova. Sve mjerene vrijednosti bile su u prosjeku veće u muškaraca nego u žena, osim tiroidnog kuta koji je bio veći u žena nego u muškaraca. Dobiveni rezultati u skladu su s postojanjem spolnog dimorfizma u istraživanjima drugih autora.

Analizom tiroidnog kuta nismo uočili postojanje jasne granice u distribuciji vrijednosti kuta koja bi pružila mogućnost klasifikacije simetričnih morfoloških tipova prema tiroidnom kutu poput klasifikacije koja je učinjena za jezične kosti. Mogući razlog tome je postojanje izrazitog spolnog dimorfizma kod tiroidnog kuta, no toliko izražena razlika nije uočena kod jezičnih kostiju. Međutim, uočeno je postojanje asimetričnih tipova štitne hrskavice. U nekim parametrima asimetrija je jače izražena, tako da smo koeficijent simetričnosti odredili kao razlomak između vrijednosti parametra desne i lijeve strane: stražnje visine štitne hrskavice (AD) i gornje (BE) i donje širine štitne hrskavice (CF). Kao asimetrične karakterizirali smo parametre u kojima postoji razlika desne i lijeve strane veća od 10%. Nije uočena razlika između spolova u razdiobi asimetričnih hrskavica, a kod oba spola asimetrija je češće prisutna u vertikalnih nego u horizontalnih parametara. Uspoređujući dimenzijske pokazatelje štitnih hrskavica u simetričnoj i asimetričnoj skupini, utvrđeno je da ne postoji statistički značajna

razlika među mjerenim dimenzijskim pokazateljima između simetričnih i asimetričnih hrskavica.

Na osnovi omjera razmaka gornjih, odnosno donjih rogova, pri vrhu i pri bazi, svaki par rogova okarakterizirali smo kao konvergentan ili divergentan. Kao divergentne okarakterizirali smo rogove u kojih je razmak među rogovima bio veći pri vrhu nego pri bazi, a kao konvergentne one u kojih je razmak među rogovima bio manji pri vrhu nego pri bazi. Gornji rogovi bili su češće divergentni od donjih u oba spola. Gornji rogovi bili su nešto češće divergentni u žena, a donji u muškaraca. Kako je broj štitnih hrskavica s divergentnim donjim rogovima praktički zanemariv, razdiobu morfometrijskih parametara razmatrali smo samo na osnovu usmjerenja gornjih rogova. Razmak između vrhova gornjih rogova bio je očekivano veći kod divergentnih štitnih hrskavica, no kod razmaka među rogovima štitne hrskavice na ostalim mjestima nije pronađena statistički značajna razlika. Stražnja visina štitnih hrskavica i dužina gornjih rogova značajno su veći u konvergentnih štitnih hrskavica, dok između dužina donjih rogova, prednje visine štitne hrskavice i stražnje visine ploče štitne hrskavice nije uočena statistički značajna razlika. Gornja i donja širina štitne hrskavice također su veće u konvergentnih nego u divergentnih štitnih hrskavica, izražajnije na lijevoj strani, dok je na desnoj strani razlika statistički značajna samo kod donje širine štitne hrskavice, a kod gornje nije. Tiroidni kut bio je veći u divergentnih nego u konvergentnih štitnih hrskavica.

U konačnici smo usporedili dimenzijske pokazatelje štitnih hrskavica kod različitih dobnih skupina. Za neke parametre uočene su razlike među dobnim skupinama. Tako su razmak među rogovima na različitim mjestima i gornja i donja širina ploče bili veći u dobnjoj skupini 31-50 godina u odnosu na ostale, a duljina donjih rogova bila je manja u najmlađoj dobnjoj skupini u odnosu na ostale. Kod ostalih linearnih parametara te tiroidnog kuta nije uočena statistički značajna razlika među skupinama.

### 6.5.2. Mineralna gustoća štitne hrskavice

Mineralnu gustoću, odnosno stupanj osifikacije štitne hrskavice, odredili smo na istom uzorku različitim metodama: metodom žarenja u laboratorijskoj peći te računalnim metodama. Određivanjem mineralne gustoće na istom uzorku različitim metodama željeli smo utvrditi stupanj korelacije između metoda. Metoda žarenja predstavlja pravu mineralnu gustoću jer je upravo mineralni ostatak produkt žarenja. Uz prethodno određen volumen hrskavice, mineralnu gustoću određenu tom metodom izrazili smo u  $\text{g/cm}^3$ . Te činjenice određuju metodu žarenja referentnom pa smo prema njoj odredili stupanj korelacije dviju metoda. Računalne metode jednostavne su i nisu destruktivne, stoga je mjerenje moguće provesti u više navrata. Uz štitnu hrskavicu slikali smo i etalon s četiri aluminijska valjka promjera redom 2, 3, 4 i 5 mm. Kako je riječ o valjcima, put koji prolazi rendgenska zraka neovisan je o kutu upadanja. Tako je pouzdano moguće usporedbom intenziteta boje izraziti mineralnu gustoću štitne hrskavice kao ekvivalent aluminijske.

Naknadno je učinjeno mjerenje prave mineralne gustoće metodom žarenja i izražena je u  $\text{g/cm}^3$ . Analizom podataka utvrdili smo ovisnost mineralizacije o dobi, spolu, morfološkom tipu i načinu pucanja štitnih hrskavica.

Metodom žarenja vidljiv je jasan trend porasta stupnja mineralizacije s dobi ispitanika, s blagim padom u najstarijoj dobnoj skupini. To potvrđuje prirodu osifikacije štitnih hrskavica kao degenerativnog procesa, dok je blago smanjenje u najstarijoj dobnoj skupini vjerojatno posljedica nastupanja osteoporoze.

Nakon toga utvrdili smo mineralnu gustoću štitnih hrskavica ovisno o spolu. Obje metode su potvrdile da su štitne hrskavice podrijetlom od osoba muškog spola prosječno jače mineralizirane sa statistički značajno izraženom razlikom.

Kada je riječ o ovisnosti gustoće štitnih hrskavica o morfološkom tipu, nije bilo značajne razlike u mineralizaciji između simetričnih i asimetričnih štitnih hrskavica. Međutim, objema metodama utvrđena je statistički značajna razlika u stupnju mineralizacije kada smo hrskavice klasificirali ovisno o usmjerenosti gornjih rogova, gdje su hrskavice s konvergentnim gornjim rogovima bile jače mineralizirane u odnosu na one s divergentnim.

U konačnici smo usporedili mineralnu gustoću štitne hrskavice ovisno o načinu pucanja. Objema metodama uočena je statistički značajna jača prosječna mineralizacija u hrskavica koje su pucale složenim načinom.

Usporedbom metoda utvrdili smo kako je riječ o kompatibilnim metodama. Testiranjem korelacije među metodama, utvrdili smo postojanje visokog stupnja korelacije između metoda, što je potvrdilo njihovu kompatibilnost. Zaključili smo da računane metode možemo smatrati jednako pouzdanima, a znatno su jednostavnije i brže te omogućuju neograničeno ponavljanje mjerenja.

Na osnovi mjerenja mineralizacije štitnih hrskavica zaključili smo da stupanj osifikacije hrskavice ovisi o dobi i spolu čime prati trend degenerativnih procesa u tijelu i nakupljanje degenerativnih promjena tkiva starenjem organizma te globalni trend osteoporoze.

Kako degeneracijom dolazi do biomehaničkih promjena tkiva i njegove očekivane smanjene otpornosti na mehanička djelovanja, važno je poznavati i žilavost hrskavice i njezinu ovisnost o različitim pokazateljima.

### 6.3.3. Žilavost štitne hrskavice

Žilavost je mjera za čvrstoću tkiva. Mjerili smo energiju potrebnu da određenu površinu poprečnog presjeka slomi i pomak u trenutku loma te rezultat izrazili kroz jedinicu  $J/m^2 \cdot 10^3$ . Kao trenutak pucanja hrskavice uzeli smo trenutak u kojem je postignuta značajna razlika pomaka mjerenog u dvije uzastopne sekunde. Silu pri kojoj se to dogodilo okarakterizirali smo kao silu koja dovodi do pucanja hrskavice. Uočili smo da kod nekih hrskavica postoji samo jedna značajna razlika pomaka, dok je kod drugih vidljivo dvije ili više većih razlika pomaka te je kao stvarni trenutak pucanja hrskavice uzet onaj u kojem je postignuta prva značajna razlika pomaka. Sam način pucanja okarakterizirali smo u prvom slučaju kao jednostavan, a u drugom slučaju kao složen. Kao i u ostalim metoda, žilavost štitne hrskavice izrazili smo u korelaciji sa životnom dobi, spolom, morfološkim tipom i načinom pucanja.

Odredili smo žilavost štitne hrskavice u različitim dobnim skupinama. Nije uočena statistički značajna razlika među skupinama, no osobe starije životne dobi imale su veću prosječnu žilavost, od onih u mlađim skupinama. Vjerojatni razlog tome je veća količina koštane tvari u starijim dobnim skupinama u sklopu degenerativnih procesa što je doprinijelo većoj čvrstoći tkiva.

Nakon toga utvrdili smo ovisnost žilavosti štitnih hrskavica o spolu. Ni ovdje nije pronađena statistički značajna razlika, no hrskavice osoba muškog spola imale su nešto veću prosječnu žilavost od hrskavica osoba ženskog spola. Kako su hrskavice podrijetlom od osoba muškog spola bile prosječno jače mineralizirane, manji stupanj razlike u žilavosti u odnosu na stupanj mineralizacije daje naslutiti da stupanj osifikacije nije jedini parametar o kojem ovisi žilavost štitne hrskavice.

Kada je riječ o morfološkom tipu hrskavice, nije uočena statistički značajna razlika u žilavosti među različitim morfološkim tipovima štitne hrskavice. Ipak, simetrične hrskavice imale su nešto veću žilavost od asimetričnih, te divergentne od konvergentnih.

U konačnici smo utvrdili žilavost štitnih hrskavica ovisno o načinu pucanja. Otkrili smo da postoji izrazita statistički značajna razlika u žilavosti ovisno o načinu pucanja. Hrsravice koje su pukle jednostavnim načinom imale su značajno veću prosječnu žilavost od onih koje su pukle složenim načinom, što je suprotno od pronađenih razlika u mineralnoj gustoći ovisno o

načinu pucanja. To dodatno potvrđuje da na žilavost štitne hrskavice pored mineralne gustoće utječu i drugi čimbenici. Iz tog razloga čini se da razlike u žilavosti ovise prvenstveno o drugim elementima koji izgrađuju međustaničnu tvar hrskavičnog tkiva, osobito mreža vlakana matriksa, a stupanj mineralizacije u manjoj mjeri pridonosi žilavosti štitne hrskavice.

## 7. ZAKLJUČAK

1. Štitne hrskavice podrijetlom od osoba muškog spola statistički su značajno veće u svim dimenzijskim pokazateljima, osim tiroidnog koji je veći kod žena.
2. Na osnovu analize tiroidnog kuta nije bilo moguće klasificirati štitne hrskavice u različite morfološke tipove.
3. Uzorke u kojima je postojala razlika parametara lijeve i desne strane veća od 10% okarakterizirali smo kao asimetrične, a preostale kao simetrične.
4. Nije uočena razlika između spolova u razdiobi asimetričnih hrskavica, a kod oba spola asimetrija je češće prisutna u vertikalnih nego u horizontalnih parametara.
5. Na osnovi omjera razmaka gornjih, odnosno donjih rogova, pri vrhu i pri bazi podijelili smo hrskavice na konvergentne i divergentne.
6. Gornji rogovi bili su češće divergentni od donjih kod oba spola. Broj divergentnih donjih rogova bio je zanemariv pa smo za klasifikaciju štitnih hrskavica kao konvergentnih ili divergentnih uzeli samo usmjerenje gornjih rogova.
7. Konvergentne štitne hrskavice bile su u prosjeku veće u većini dimenzijskih pokazatelja, jedino su razmaci između vrhova gornjih rogova i tiroidni kut bili veći u divergentnih štitnih hrskavica.
8. Kod nekih dimenzijskih pokazatelja uočene su razlike među dobnim skupinama. Razmak među rogovima na različitim mjestima i gornja i donja širina ploče bili su veći u dobnoj skupini 31-50 godina u odnosu na ostale, a duljina donjih rogova bila je manja u najmlađoj dobnoj skupini u odnosu na ostale. Kod ostalih linearnih parametara te tiroidnog kuta nije uočena statistički značajna razlika među skupinama.
9. Mineralnu gustoću štitne hrskavice odredili smo računalnim metodama te konačno metodom žarenja do mineralnog ostatka u laboratorijskoj peći, uz prethodno određen volumen svakog uzorka Arhimedovim principom.
10. Mineralizacija je u najvećoj mjeri ovisna o životnoj dobi, spolu i morfološkom tipu definiranom prema usmjerenosti gornjih rogova, dok ne ovisi o simetričnosti štitne hrskavice.
11. Mineralizacija štitne hrskavice postupno raste s dobi ispitanika s blagim padom u najstarijoj dobnoj skupini, što potvrđuje prirodu osifikacije štitnih hrskavica kao degenerativnog procesa te opći trend osteoporoze.
12. Štitne hrskavice podrijetlom od osoba muškog spola imaju prosječno veći stupanj mineralizacije.



13. Nema značajne razlike u stupnju mineralizacije između simetričnih i asimetričnih hrskavica.
14. Hrskavice s konvergentnim gornjim rogovima pokazuju jači stupanj mineralizacije u odnosu na one s divergentnim.
15. Hrskavice koje pucaju složenim načinom prosječno su jače mineralizirane od onih koje pucaju jednostavnim načinom.
16. Računalne metode određivanja mineralizacije štitne hrskavice kompatibilne su s određivanjem mineralne gustoće metodom žarenja.
17. Postoji razlika u načinu pucanja hrskavica te neke pucaju jednostavnim, a neke složenim načinom.
18. Osobe starije životne dobi imaju veću prosječnu žilavost od onih u mlađim skupinama, ali bez statističke značajnosti.
19. Spol i morfološki tip nemaju bitnijeg utjecaja na žilavost štitnih hrskavica, no ona je nešto veća u hrskavica osoba muškog spola te u simetričnih i divergentnih hrskavica.
20. Postoji izrazita statistički značajna razlika u žilavosti ovisno o načinu pucanja. Hrskavice koje su pukle jednostavnim načinom imaju značajno veću prosječnu žilavost od onih koje su pukle složenim načinom.
21. Na žilavost štitne hrskavice pored mineralne gustoće utječu i drugi čimbenici, prvenstveno ostali elementi koji izgrađuju međustaničnu tvar hrskavičnog tkiva, osobito mreža vlakana matriksa.

## 8. REFERENCE

1. Krmpotić-Nemanić J, Marušić A. Anatomija čovjeka. Medicinska naklada, 2007, Zagreb; 277-281
2. Sandler, TW. Langmanova Medicinska embriologija. Školska knjiga, 1996. Zagreb; 233-235, 312-322
3. Nikolić V, Hudec M. Principi i elementi biomehanike. Školska knjiga 1988., Zagreb
4. Ajmani ML, Jain SP, Saxena SK. A metrical study of laryngeal cartilages and their ossification. *Anat Anz* 1980;148:42-48
5. Jurik AG. Ossification and calcification of the laryngeal skeleton. *Acta Radiol Diagn (Stockh)*. 1984; 25(1):17-22
6. Claassen H, Schiet M, Sel S, Paulsen F. Special pattern of endochondral ossification of human laryngeal cartilages: X-ray and light-microscopic studies on thyroid cartilage. *Clin Anat* 2014; 27(3):423-30
7. Turkmen S, Cansu A, Turedi S, Eryigit U, Sahin A, Gunguz A, Shavit I. Age-dependent structural and radiological changes in the larynx. *Clin Radiol* 2012; 67(11):e22-6
8. Garvin HM. Ossification of laryngeal structures as indicators of age. *J Forensic Sci* 2008; 53(5):1023-7
9. Hänsch CF. Throat-skeleton fractures by strangulation. *Z Rechtsmed*. 1977;79(2):143-7
10. Line WS Jr, Stanley RB Jr, Choi JH. Strangulation: a full spectrum of blunt neck trauma. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1985;(6 Pt 1):542-6
11. Luke JL, Reay DT, Eisele JW, Bonnell HJ. Correlation of circumstances with pathological findings in asphyxial deaths by hanging: a prospective study of 61 cases from seattle WA. *J Forensic Sci*. 1985;30(4):1140-7
12. Maxeiner H, Bockholdt B. Homicidal and suicidal ligature strangulation – a comparison of the post-mortem findings. *Forensic Sci Int*. 2003;137(1):60-6
13. Mullen TF. Fracture of the larynx. *Ann Surg*. 1924;80(5):660-9
14. Rajs J, Thiblin I. Histologic appearance of fractured thyroid cartilage and surrounding tissues. *Forensic Sci Int*. 2000;114(3):155-66
15. Khoklov VD. Knitted fractures of the laryngopharynx framework as a medico-legal matter. *Forensic Sci Int*. 1999;104(2-3):147-62
16. Khoklov VD. Injuries to the hyoid bone and laryngeal cartilages: effectiveness of different methods of medico-legal investigation. *Forensic Sci Int*. 1997;88(3):173-83.

17. Demirci S, Dogan KH, Erkol Z, Gunaydin G. Ligature strangulation deaths in the province of Konya (Turkey). *J Forensic Leg Med*. 2009;16(5):248-52
18. Sharma BR, Harish D, Sharma A, Sharma S, Singh H. Injuries to neck structures in deaths due to constriction of neck, with a special reference to hanging. *J Forensic Leg Med*. 2008;15(5):298-305.
19. DiMaio VJ. Homicidal asphyxia. *Am J Forensic Med Pathol*. 2000;21(1):1-4
20. Stanley RB Jr, Hanson DG. Manual strangulation injuries of the larynx. *Arch Otolaryngol*. 1983;109(5):344-7.
21. Verma SK, Lal S. Strangulation deaths during 1993-2002 in East Delhi (India). *Leg Med (Tokyo)*. 2006;8(1):1-4
22. Taktak S, Kumral B, Unsal A, Buyuk Y, Celik S. Suicidal Hanging in Istanbul, Turkey: 1979-2012 Autopsy results. *J Forensic Leg Med* 2015; 33:44-9
23. Saternus KS, Maxeneir H, Kernbach-Wrighton G, Koebke J. Traumatology of the superior thyroid horns in suicidal hanging – an injury analysis. *Leg Med (Tokyo)* 2013;15(3):134-9
24. Jayaprakash S, Sreekumari K. Pattern of injuries to neck structures in hanging- an autopsy study. *Am J Forensic Med Pathol* 2012 33; 395-9
25. Dunsby AM, Davison AM. Causes of laryngeal cartilage and hyoid bone fractures found at postmortem. *Med Sci Law* 2011; 51(2):109-13
26. Lee SY. Experimental blunt injury to the larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1992;101(3):270-4
27. Bockholdt B, Hempelmann M, Maxeiner H. Experimental investigations of fractures of the upper thyroid horns. *Leg Med (Tokyo)*. 2003;5 Suppl 1:S252-5
28. Strek P, Skawina A, Petri M, Oiszewski E, Nowogrodzka-Zagorska M, Waloch J. The investigations of mechanical properties of ossifying thyroid cartilages of human larynx. *Folia Morphol (Warsz)* 1993; 52(1):39-46
29. Travis LW, Olson NR, Melvin JW, Snyder RG. Static and dynamic impact trauma of the human larynx. *Trans Sect Otolaryngol Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1975; 80(4 Pt 1):382-90
30. Lekšan I. Jezična kost –morfologija, biomehanika i forenzički aspekti. Ph.D. Thesis. I. Croat. School of Medicine, University „J.J. Strossmayer“, Osijek 2009
31. Selthofer R. Problem of structure and strength of the sternum after cardiac surgery median sternotomy and suture. Ph.D. Thesis. I. Croat. School of Medicine, University „J.J. Strossmayer“, Osijek 2005

32. Mupparapu M, Vuppalapati A. Ossification of laryngeal cartilages on lateral cephalometric radiographs. *Angle Orthod* 2005; 75(2):196-201
33. de la Grandmaison GL, Baasr A, Durigon M. Age estimation using radiographic analysis of laryngeal cartilage. *Am J Forensic Med Pathol* 2003; 24(1):96-9
34. Mupparapu M, Vuppalapati A. Detection of an early ossification of thyroid cartilage in an adolescent on a lateral cephalometric radiograph. *Angle Orthod* 2002; 72(8):576-8
35. Dang-Tran KD, Dedouit F, Joffre E, Rousseau H, Telmon N. Thyroid cartilage ossification and multislice computed tomography examination: a useful tool for age assessment? *J Forensic Sci* 2010; 55(3):677-83
36. Sugiyama S, Tatsumi S, Noda H, Yamaguchi M, Furutani A, Yoshimura M. Estimation of age from soft X-ray findings of Japanese females thyroid cartilages. *Nihon Hoigaku Zasshi* 1995; 49(4):236-42
37. Sugiyama S, Tatsumi S, Noda H, Yamaguchi M, Furutani A, Yoshimura M. Estimation of age from image processing of soft X-ray findings of Japanese male thyroid cartilages. *Nihon Hoigaku Zasshi* 1995; 49(4):236-42
38. Griffin MF, Premakumar Y, Seifalian AM, Szarko M, Butler PE. Biomechanical characterisation of the human nasal cartilages; implications for tissue engineering. *J Mater Sci Mater Med*. 2016; 27(1):11
39. Nimeskern L, Utomo L, Lehtoviita I, Fessel G, Snedeker JG, van Osch GJ, Müller R, Stok KS. Tissue composition regulates distinct viscoelastic responses in auricular and articular cartilage. *J Biomech*. 2016; 49(3):344-52
40. Burgin LV, Edelsten L, Aspden RM. The mechanical and material properties of elderly human articular cartilage subject to impact and slow loading. *Med Eng Phys*. 2014; 36(2):226-32
41. Julkunen P, Jurvelin JS, Isaksson H. Contribution of tissue composition and structure to mechanical response of articular cartilage under different loading geometries and strain rates. *Biomech Model Mechanobiol*. 2010;9(2):237-45
42. Lu XL, Mow VC. Biomechanics of articular cartilage and determination of material properties. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(2):193-9
43. Guo BY, Liao DH, Li XY, Zeng YJ, Yang QH. Age and gender related changes in biomechanical properties of healthy human costal cartilage. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2007;22(3):292-7

44. Richmon JD, Sage A, Wong WV, Chen AC, Sah RL, Watson D.  
Compressive biomechanical properties of human nasal septal cartilage. *Am J Rhinol.* 2006; 20(5):496-501.
45. Rains JK, Bert JL, Roberts CR, Paré PD  
Mechanical properties of human tracheal cartilage. *J Appl Physiol* 1992;72(1):219-25.
46. Lau A, Oyen ML, Kent RW, Murakami D, Torigaki T.  
Indentation stiffness of aging human costal cartilage. *Acta Biomater.* 2008;4(1):97-103.
47. Jotz GP, Stefani MA, Pereira da Costa Filho O, Malysz T, Soster PR, Leao HZ. A morphometric study of the larynx. *J Voice* 2014; 28(6):668-72
48. Tayama N, Chan RW, Kaga K, Titze IR. Geometric characterization of the laryngeal cartilage framework for the purpose of biomechanical modeling. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2001; 110(12):1154-61
49. Zielinski R. Morphometrical study on senile larynx. *Folia Morphol (Warsz)* 2001; 60(2):73-8
50. Sprinzi GM, Eckel HE, Sittel C, Pototsching C, Koebeke J. Morphometric measurements of the cartilaginous larynx: An anatomic correlate of laryngeal surgery. *Head Neck* 1999; 21(8):743-50
51. Eckel HE, Sittel C, Zorowka P, Jerke A. Dimensions of the laryngeal framework in adults. *Surg Radiol Anat* 1994; 16(1):31-6
52. Ajmani ML. A metrical study of the laryngeal skeleton in adult Nigerians. *J Anat* 1990; 171:187-91

## **9. SAŽETAK**

### **Uvod**

Istraživanje je provedeno na Medicinskom fakultetu Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku i obuhvatilo je strukturalnu, geometrijsku i biomehaničku analizu 46 uzoraka štitnih hrskavica iz arhivske zbirke Zavoda za anatomiju. Klinički i morfološki značaj štitne hrskavice rezultirao je interesom za definiranje objektivnih morfoloških i mehaničkih karakteristika štitne hrskavice.

### **Materijali i metode**

Provedena je morfometrijska analiza, a mjereni su parametri zadani antropometrijskim obilježjima štitne hrskavice, a na osnovu dijela njih provedena je klasifikacija štitnih hrskavica. Mineralna gustoća štitnih hrskavica određena je na istom uzorku računalnim metodama i metodom žarenja uzoraka štitnih hrskavica u laboratorijskoj peći, uz prethodno određen volumen Arhimedovim principom. Žilavost je određena posebno konstruiranim uređajem za lom štitnih hrskavica.

### **Rezultati**

Morfometrijskom analizom dobili smo podatke o prosječnim dimenzijama štitne hrskavice i utvrdili kako je ženska štitna hrskavica prosječno manja u svim definiranim dimenzijama, osim tiroidnog kuta. Na osnovi morfometrijskih pokazatelja hrskavice smo klasificirali kao simetrične i asimetrične te kao konvergentne i divergentne ovisno o usmjerenju gornjih rogova. Mjerenjem mineralne gustoće štitne hrskavice i metodom žarenja utvrdili smo da mineralizacija raste sa životnom dobi zbog osifikacije kao degenerativnog procesa, ali opada u najstarijoj dobnoj skupini prateći opći trend osteoporoze. Također, utvrdili smo da su ženske štitne hrskavice prosječno manje gustoće od muških. Konvergentne te hrskavice koje su pucale složenim načinom bile su prosječno jače mineralizirane. Mjerenjem žilavosti nismo utvrdili statistički značajnu razliku ovisno o dobi i spolu, ali su hrskavice starije dobi i

muškog spola imale nešto veću prosječnu žilavost. Međutim, utvrđena je statistički značajno veća žilavost u hrskavica koje su pucale jednostavnim načinom.

### **Zaključak**

Na osnovi dobivenih rezultata definirali smo standardne dimenzijske pokazatelje o objektivizirali morfološke tipove štitnih hrskavica. Na osnovi mineralizacije i žilavosti dobili smo saznanja o mehaničkim karakteristikama štitne hrskavice. Utvrdili smo da na žilavost štitne hrskavice pored mineralne gustoće utječu i drugi čimbenici te da štitna hrskavica starenjem pokazuje degenerativne promjene u smislu osifikacije i osteoporoze.

### **Ključne riječi**

Biomehanika, štitna hrskavica, morfometrija, osifikacija.

## **10. SUMMARY**

### **BIOMECHANICAL PROPERTIES OF THYROID CARTILAGE**

#### **Introduction**

The research was conducted at Faculty of Medicine University J.J. Strossmayer in Osijek and included structural, geometrical and biomechanical analysis of 46 thyroid cartilage samples from archive collection of Department of anatomy. Our interest is based on forensic and clinical importance of the thyroid cartilage so we defined objective morphological and mechanical characteristics.

#### **Materials and methods**

The morphometry analysis was conducted, and thyroid cartilage was classified according to thyroid cartilage anthropometric features. Thyroid cartilage mineral density was determined by computer methods and method of slow heating in laboratory furnace. The toughness was set using the specially designed machine for thyroid cartilage fracture.

#### **Results**

On the basis of morphometric analysis we defined that the female thyroid cartilages are smaller in all dimensions, except thyroid angle. According to morphometric data we have classified thyroid cartilages as symmetric and asymmetric, and also as convergent and divergent based on direction of upper horns. By measuring thyroid cartilage mineral density we have determined that mineralisation is increasing by age according to ossification as degenerative process, but is decreasing in elder because of the osteoporosis. Female thyroid cartilages are on average on lower density than male thyroid cartilage. Convergent and cartilages that fracture in complex mean are on average more mineralized. We determined that there is no significant difference in toughness of thyroid cartilage according to age and sex, but elder and male cartilages have slightly higher toughness. There was statistically significant higher toughness in cartilages that fractured in simple mean.



## **Conclusion**

According to the results we defined standard dimensions and morphological types of the thyroid cartilage. On the base of mineral density and toughness we defined biomechanical characteristic of thyroid cartilage. We determined that there are other parameters influencing toughness of thyroid cartilage besides mineral density, and that there are degenerative changes, in ways of ossification and osteoporosis, in aging thyroid cartilage.

## **Key words**

Biomechanics, thyroid cartilage, morphometry, ossification.

## 11. ŽIVOTOPIS AUTORA

### OSOBNI PODACI

**Ime i prezime:** Tanja Kovač  
**Datum rođenja:** 30. kolovoza 1980.  
**Mjesto rođenja:** Osijek  
**Državljanstvo:** Republike Hrvatske  
**Narodnost:** Hrvatica  
**Adresa:** Krstova 18, 31000 Osijek

### RADNO ISKUSTVO

**2005 – 2007** Asistent na Katedri za anatomiju Medicinskog fakulteta Osijek  
**2002 – 2007** Predavač – vanjski suradnik u Medicinskoj školi Osijek na predmetu anatomija i fiziologija  
**2005 – 2006** Liječnik pripravnik u Kliničkoj bolnici Osijek  
**2007 - 2008** Liječnik u Hitnoj medicinskoj pomoći Osječko-baranjske županije  
**2007 -** Naslovni asistent na Katedri za anatomiju Medicinskog fakulteta Osijek  
**2008 – 2013** Liječnik specijalizant anesteziologije, reanimatologije i intenzivnog liječenja u KBC-u Osijek  
**2013 -** Liječnik specijalist anesteziologije, reanimatologije i intenzivnog liječenja u KBC-u Osijek

### NAOBRAZBA

**1987-1995** OŠ „Dobriše Cesarića“, Osijek  
**1995-1999** III. gimnazija (prirodoslovno-matematička), Osijek  
**1999.-2005.** Medicinski fakultet, Osijek (srednja ocjena 4.17)  
**2006 - 2016** Poslijediplomski doktorski studij Biomedicina i zdravstvo, Medicinski fakultet, Osijek  
**2008-2013** Specijalizacija iz anesteziologije, reanimatologije i intenzivnog liječenja  
**2013.** Specijalistički ispit iz anesteziologije, reanimatologije i intenzivnog liječenja, Zagreb  
**2014-** Uža specijalizacija iz Intenzivne medicine

### NAGRADE I STIPENDIJE

**1999.-2005.** Stipendija Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa  
**2005.** Rektorova nagrada Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku

### AKADEMSKI NASLOVI

**2005.** Doktor medicine, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku  
**2006.** Dozvola za samostalan rad  
**2013.** Specijalist anesteziologije, reanimatologije i intenzivnog liječenja

## OSTALE AKTIVNOSTI

- 2000.-2002.** Demonstrator na Katedri za anatomiju  
**2002.-2005.** Demonstrator na Katedri za patofiziologiju

## PUBLIKACIJE

- 2006.** Jo-Osvatić A, Kovač T, Radić R, Nikolić V, Mišević T. Threedimensional definition of the epipharyngeal bony space. Poster, 101st Annual Meeting of the Anatomische Gesellschaft, Freiburg, Njemačka
- 2007.** Ružić A, Peršić V, Miletić B, Včev A, Mirat J, Soldo I, Batinac T, Kovač T. Erectile Dysfunction after Myocardial Infarction – Myth or Real Problem. Coll Antopol, 2007; 31 (1):185-188
- 2007.** Kovac T, Leksan I, Nikolic V, Marcikic M, Radic R, Jo Osvatic A. Morphology of thyroid cartilage: Is there a link between thyroid angle and type of hyoid bone. Poster, 102nd Annual Meeting of the Anatomische Gesellschaft, Giessen, Njemačka
- 2007.** Kovač T, Radić R, Jo-Osvatić A, Nikolić V, Mišević T. The Epipharyngeal Space, a Comparative Study on Cadaveric Materials and CT and MRI Images of Living Patients. Predavanje-prezentacija, 9th Congress of European Association of Clinical Anatomy, Prag, Češka
- 2007.** Kovač T, Radić R, Jo-Osvatić A, Nikolić V, Mišević T. The Epipharyngeal Space, a Comparative Study on Cadaveric Materials and CT and MRI Images of Living Patients. Journal of Clinical Anatomy 2007; 29:453-453
- 2007.** Kovač T, Lekšan I, Nikolić V, Marcikić M, Radić R, Jo Osvatić A. Morphology of thyroid cartilage: Is there a link between thyroid angle and type of hyoid bone. Poster, Bridges in Life Sciences Annual Scientific Review, Pecs, Mađarska
- 2009.** Kovač T, Radić R, Popović B. Experimental investigation of fractures of thyroid cartilage. Poster, Joint Meeting Anatomische Gesellschaft – Nederlandse Anatomen Vereniging, Antwerpen, Belgija
- 2009.** Kovac T, Popovic B, Radic R, Kovacevic M, Wertheimer V. Morphometric descriptions of thyroid cartilage in the population of Eastern Slavonia and comparison with other ethnic groups. Predavanje-prezentacija, Bridges in Life Sciences Annual Scientific Review Debrecen, Mađarska
- 2010.** Kovač T, Popović B, Marjanović K, Wertheimer V, Kovačević M, Nikolić V, Jo-Osvatić A, Radić R. Morphometric Characteristics of Thyroid Cartilage in People of Eastern Croatia. Coll Antopol, 2010; 34 (3):1069-1073
- 2010.** Šišljagić V, Jovanović S, Mrčela T, Nikolić V, Radić R, Wertheimer V, Kovač T, Mrčela M. Applicability of bovine tibia as a model in research on various osteosynthesis techniques. Period Biol 2010; 112: 59-62

## **VJEŠTINE**

Strani jezici

Rad na računalu

Engleski: aktivno u govoru i pismu; položen 7. stupanj

ECDL diploma, svih 7 modula