



Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Barbara Delija Omazić

**UTJECAJ PARAMETARA OBLIKA I BOJE
GORNJIH PREDNIH ZUBA NA ESTETIKU
LICA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2026.



Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Barbara Delija Omazić

**UTJECAJ PARAMETARA OBLIKA I BOJE
GORNJIH PREDNJIH ZUBA NA ESTETIKU
LICA**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

izv. prof. prim. dr. sc. Davor Illeš

prof. dr. sc. Martina Šljaj

Zagreb, 2026.



University of Zagreb

School of dental medicine

Barbara Delija Omazić

**THE INFLUENCE OF SHAPE AND COLOR
PARAMETERS OF MAXILLARY ANTERIOR
TEETH ON FACIAL AESTHETICS**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:

Associate Professor Davor Illeš, PhD

Professor Martina Šlaj, PhD

Zagreb, 2026.

Rad je ostvaren na Zavodu za mobilnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Lektor hrvatskog jezika: Sandra Sabovljević, prof.

Lektor engleskog jezika: Martina Delija, prof.

Sastav Povjerenstva za ocjenu doktorskog rada:

- 1.
- 2.
- 3.

Sastav Povjerenstva za obranu doktorskog rada:

- 1.
- 2.
- 3.

Datum obrane rada:

Rad sadrži: 155 stranica

23 tablice

43 slike

CD

Rad je vlastito autorsko djelo koje je u potpunosti napisano samostalno uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora poslijediplomskog doktorskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihova podrijetla.

Zahvaljujem svom mentoru i prijatelju izv. prof. prim. dr. sc. Davoru Illešu na nesebičnoj pomoći i podršci prilikom u izradi ovog rada.

Najveća hvala mojoj majci Martini koja me cijeli život podržava, ohrabruje i potiče na ostvarenje svih mojih ciljeva i želja. Mama, hvala ti na ljubavi, trudu i podršci u svakom trenutku i aspektu mog života.

Velika hvala mom suprugu Marinu na ljubavi, pomoći, strpljenju i razumijevanju tijekom mog akademskog puta.

Ovu doktorsku disertaciju posvećujem najvrjednijem u svom životu, svojoj djeci, Adrianu i Iris, da im bude poticaj za rast i napredak, i misao da je sve ostvarivo uz trud i ljubav.

SAŽETAK

UTJECAJ PARAMETARA OBLIKA I BOJE GORNJIH PREDNJIH ZUBA NA ESTETIKU LICA

Estetska analiza osmijeha temelji se na odnosu facijalnih proporcija, dentalnih dimenzija i kromatskih karakteristika. Razvoj pouzdanih, objektivnih i neinvazivnih metoda mjerenja te uspostava normativnih estetskih vrijednosti od ključne su važnosti za suvremenu estetsku dentalnu medicinu. Cilj istraživanja bio je usporediti antropometrijsku i fotogrametrijsku metodu mjerenja facijalnih i dentalnih dimenzija, ispitati povezanost boje zuba s bojom tena i bjeloočnice te procijeniti pouzdanost fotogrametrije u analizi estetskih parametara donje trećine lica u hrvatskoj populaciji. Istraživanje je provedeno na 72 ispitanika s potpunom prirodnom denticijom i normalnom okluzijom. Facijalne i dentalne dimenzije mjerene su antropometrijskom i fotogrametrijskom metodom prema standardiziranom protokolu. Boja zuba, tena i bjeloočnice analizirana je u CIELAB sustavu. Statistička obrada uključivala je korelacijske i regresijske analize. Fotogrametrijska metoda pokazala je visoku pouzdanost za mjerenje vertikalnih facijalnih dimenzija, uz snažne korelacije s antropometrijskim mjerenjima ($r = 0,643 - 0,892$) i minimalna apsolutna odstupanja (0,5 – 1,2 mm). Omjer širine i visine gornjih središnjih sjekutića pokazao je vrlo dobru podudarnost između antropometrijske i fotogrametrijske metode ($\approx 0,85$), bez statistički značajnih razlika ($p > 0,05$). Kolorimetrijska analiza pokazala je iznimno jake korelacije između boje zuba i okolnih struktura. Svjetlina zuba (L^*) snažno je korelirala sa svjetlinom tena ($r = 0,902$) i bjeloočnice ($r = 0,944$), dok je multivarijatni regresijski model objasnio 92,3 % varijance svjetline zuba. Fotogrametrija predstavlja pouzdanu i neinvazivnu metodu za analizu vertikalnih facijalnih dimenzija i proporcionalnih estetskih parametara. Snažna povezanost boje zuba s bojom tena i bjeloočnice omogućuje objektivniji, individualizirani pristup estetskom planiranju i izboru boje protetskih nadomjestaka.

KLJUČNE RIJEČI:

Fotogrametrija; antropometrija; dentalna estetika; facijalne proporcije; boja zuba; kolorimetrija; CIELAB; normativna baza; hrvatska populacija

SUMMARY

THE INFLUENCE OF SHAPE AND COLOR PARAMETERS OF MAXILLARY ANTERIOR TEETH ON FACIAL AESTHETICS

Introduction: Aesthetic perception of the face and smile represents a multidimensional phenomenon that depends on the harmonious relationship between facial proportions, dental dimensions, and chromatic characteristics of the orofacial complex. Traditional anthropometric measurements represent the gold standard in the assessment of facial and dental parameters; however, their invasiveness and inability to be archived have prompted the development of digital photogrammetric methods. In addition to dimensional parameters, tooth color in relation to skin tone and sclera color plays a crucial role in the aesthetic perception of the smile. The lack of normative data for the Croatian population and unclear relationships between facial, dental, and chromatic parameters represent a significant problem in the clinical practice of aesthetic dental medicine.

Aim: The purpose of this study was threefold: (1) to compare the reliability and accuracy of anthropometric and photogrammetric methods in measuring facial and dental dimensions, (2) to investigate the relationships between tooth color, skin tone, and sclera color and to develop predictive models for selecting the ideal tooth color, and (3) to examine the possibility of predicting dental proportions from facial dimensions. The ultimate goal was to establish the first normative database of aesthetic parameters of the lower third of the face for the young adult Croatian population.

Participants and methods: The study included 72 subjects (24 males and 48 females) with a mean age of 22.94 ± 0.92 years (range 21-25 years), students at the School of Dental Medicine, University of Zagreb. Inclusion criteria were: complete natural dentition without extensive restorations, absence of orthodontic appliances, and absence of visible orofacial anomalies.

Measurements of key facial dimensions (nasion-subnasale, trichion-nasion, subnasale-gnathion, zygion-zygion) and dental parameters (width and height of right maxillary central incisor) were performed using two methods: (1) direct anthropometric method using a digital sliding caliper, and (2) indirect photogrammetric method through analysis of standardized digital photographs. Photographs were taken from a fixed distance (1,5 meter) with controlled lighting and a reference scale.

Colorimetric analysis of tooth, skin, and sclera color was performed in the CIELAB color system using standardized digital photographs with calibration using a neutral gray card and *ColorChecker Passport*. The parameters analyzed were L^* (lightness), a^* (red-green axis), and b^* (yellow-blue axis).

Prediction of the width-to-length ratio (WLR) of teeth from facial dimensions was attempted using an artificial neural network with one hidden layer. The model was trained on 70% of the sample, validated on 15%, and tested on 15% of the data.

Statistical analysis included descriptive statistics, Pearson correlation analysis, linear and multivariate regression analysis, and comparison of methods using the Wilcoxon test. The significance level was set at $p < 0.05$.

Results:

The photogrammetric method demonstrated high reliability for vertical facial dimensions with correlations $r = 0.643-0.892$ and minimal differences (0.5-1.2 mm), whereas for horizontal dimensions it systematically underestimated values (difference of 3.8 mm for Zy-Zy, $r = 0.608$). Nonlinear measurement errors were observed for certain dimensions, where photogrammetry overestimates values in one part of the measurement range and underestimates them in another. Proportional parameters were more stable between methods ($R = 0.726-0.742$) than absolute dimensions. The width-to-length ratio of central incisors (WLR) was 0.847 ± 0.068 (AM) and 0.852 ± 0.071 (PM), with no significant difference ($p > 0.05$). Colorimetric analysis revealed extremely strong correlations between tooth color and surrounding structures: L^* of teeth with L^* of skin ($r = 0.902$) and L^* of sclera ($r = 0.944$). The multivariate regression model explained 92.3% of the variance in tooth color ($L^* = 12.34 + 0.341 \times L^* \text{ skin} + 0.612 \times L^* \text{ sclera}$). Mean tooth color values were $L^* = 78.32 \pm 4.21$, $a^* = 2.14 \pm 1.32$, $b^* = 18.76 \pm 3.45$. The attempt to predict the WLR ratio from facial dimensions using a neural network was unsuccessful ($R^2 = 0.089$, relative errors 92.4% and 89.7%). The disproportion index of the maxilla showed a positive value (+9.3%), while the mandible showed a negative value (-2.9%), with these disproportions developing relatively independently of each other. Dental dimensions showed no significant correlations with jaw disproportion indices.

Conclusion: Photogrammetry represents a reliable, highly accurate, and reproducible method for assessing facial and dental parameters, with the highest degree of agreement for vertical measures and proportional analyses. Proportional parameters are more stable and reliable between methods

than absolute linear dimensions, which has important implications for aesthetic analysis. Strong correlations between tooth color, skin tone, and sclera color provide an objective basis for an individualized approach to selecting the color of prosthetic restorations, with the possibility of mathematical quantification of relationships. The lack of a predictive relationship between facial dimensions and dental proportions emphasizes the complexity of the relationship between these structures and the importance of direct dental analysis for each individual case. This study established the first normative database of aesthetic parameters of the lower third of the face for the young adult Croatian population, which provides a scientific foundation for clinical application in aesthetic, restorative, and prosthetic dental medicine.

Keywords: Photogrammetry; anthropometry; dental aesthetics; facial proportions; tooth color; colorimetry; CIELAB; normative database; Croatian population

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Estetika lica i osmijeha u suvremenoj dentalnoj medicini.....	2
1.2. Antropometrijska mjerenja i facijalne proporcije.....	3
1.2.1. Klasična antropometrijska pravila	3
1.2.2. Korelacije između facijalnih mjera i veličine prednjih zuba	4
1.2.3. Multicentrične i populacijske studije facijalnih parametara	5
1.2.4. Zlatna proporcija i matematički modeli u dentalnoj estetici.....	5
1.3. Facijalna atraktivnost i indeksi ljepote	7
1.4. Fotogrametrija i digitalna analiza u stomatologiji	8
1.4.1. Prednosti digitalne fotogrametrije.....	8
1.4.2. 3D stereofotogrametrija i standardizacija protokola digitalne fotogrametrije.....	9
1.4.3. Digitalna analiza boje zuba	9
1.5. Normativne baze podataka i populacijski specifični standardi.....	10
1.6. Boja zuba i facijalna harmonija	11
1.6.1. Značaj boje zuba u estetici osmijeha	11
1.6.2. CIELAB sustav boja	12
1.6.3. Faktori koji utječu na boju zubi	13
1.7. Metode određivanja boje zuba.....	14
1.7.1. Vizualne metode	14
1.7.2. Instrumentalne metode.....	16
1.7.2.1. Spektrofotometrija.....	16
1.7.2.2. Digitalna fotografija i fotokolorimetrija.....	18
1.7.3. Usporedba metoda	18
1.8. Određivanje boje tena	19
1.9. Osnove za daljnja istraživanja	25
2. CILJEVI I HIPOTEZE	26
3. ISPITANICI I POSTUPCI.....	29
3.1. Uzorak ispitanika	30
3.1.1. Kriteriji uključivanja i isključivanja	31

3.1.2. Antropometrijski parametri ispitanika	31
3.1.3. Prikupljanje anamnestičkih podataka	32
3.2. Uvjeti istraživanja i oprema	33
3.2.1. Istraživački laboratorij i uvjeti osvjetljenja.....	33
3.2.2. Pozicioniranje ispitanika	33
3.3. Antropometrijska mjerenja	34
3.3.1. Instrumenti i postupak mjerenja.....	34
3.3.2. Antropometrijske točke i mjerenja.....	35
3.3.2.1. Indeks disproporcije	37
3.3.3. Dentalna mjerenja	38
3.4. Spektrofotometrijska mjerenja.....	40
3.4.1. Instrumenti i priprema.....	40
3.4.2. Postupak mjerenja	42
3.4.3. Priprema zuba prije mjerenja	42
3.5. Digitalna fotografija.....	43
3.5.1. Fotografaska oprema i postavke	43
3.5.2. Pozicioniranje fotoaparata i ispitanika.....	43
3.5.3. Kalibracija boje i standardizacija.....	44
3.5.4. Protokol fotografiranja.....	46
3.6. Određivanje boje tena	46
3.7. Fotogrametrijska mjerenja	47
3.8. Digitalna kolorimetrijska analiza	49
3.8.1. Rekalibracija boje zuba.....	49
3.8.2. Mjerenje boje bjeloočnice.....	49
3.8.3. Mjerenje boje tena.....	49
3.9. Statistička analiza	50
4. REZULTATI	51
4.1. Rezultati mjerenja dimenzija i proporcija zuba/lica	54
4.1.1. Usporedba vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom.....	55
4.1.2. Delta varijable-razlika antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za dimenzije lica.....	56

4.1.3. Delta varijable-razlika antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za dimenzije gornjeg desnog središnjeg sjekutića.....	57
4.1.4. Korelacije između vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom.....	58
3.3.2.2. Korelacije između vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom koje se odnose na dimenzije lica	58
3.3.2.3. Korelacije između vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom koje se odnose na dimenzije gornjeg desnog središnjeg sjekutića.....	59
3.3.2.4. Korelacijski pravci za antropometrijske (AM) i fotogrametrijske (PM) podatke .	60
4.1.5. Rezultati za omjere širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica.....	62
4.1.5.1. Raspodjele prema percentilama za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica	62
4.1.5.2. Histogrami za raspodjele omjera širine i dužine (WLR) zuba i lica	63
4.1.5.3. Histogrami za raspodjele omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica.....	64
4.1.5.4. Histogrami omjera širine zuba 11 i udaljenosti između komisura te omjera širine zuba 11 i bipupilarne udaljenosti.....	65
4.1.6. Korelacije antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica.....	66
4.1.6.1. Dijagrami raspršenja i korelacijski pravci antropometrijski (AM) i fotogrametrijski (PM) dobivenih omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica	66
4.1.6.2. Dijagrami raspršenja za omjer širine i dužine (WLR) gornjeg središnjeg sjekutića naspram omjera širine i dužine cijelog lica i donjih dviju trećina lica.....	69
4.1.6.3. Linearna regresijska analiza za <i>omjer širine i dužine</i> gornjeg središnjeg sjekutića (11 WLR) s dimenzijama lica na fotogrametrijskim i antropometrijskim podacima.....	70
4.1.6.4. Linearna regresijska analiza širinu i dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s dimenzijama lica kao prediktorima – antropometrijska i fotogrametrijska mjerenja	71
4.1.6.4.1. Linearna regresijska analiza za antropometrijski izmjerenu dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima....	72
4.1.6.4.2. Linearna regresijska analiza za antropometrijski izmjerenu širinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima....	73

4.1.6.4.3. Linearna regresijska analiza za fotogrametrijski izmjerenu dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima....	74
4.1.6.4.4. Linearna regresijska analiza za fotogrametrijski izmjerenu širinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima....	75
4.1.7. Neuronska mreža za procjenu omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (WLR 11) iz antropometrijskih i fotogrametrijskih dimenzija lica	76
4.1.8. Indeks disproporcije gornje i donje čeljusti	77
4.1.8.1. Indeks disproporcije gornje i donje čeljusti prema percentilama.....	78
4.1.8.2. Dijagram raspršenja indeksa disproporcije gornje i donje čeljusti prema percentilama	79
4.1.8.3. Korelacije s indeksom disproporcije gornje čeljusti	80
4.1.8.4. Korelacije s indeksom disproporcije donje čeljusti.....	81
4.2. Rezultati kolorimetrijskih podataka.....	82
4.2.1. Histogrami za fotogrametrijske vrijednosti L^* , a^* i b^* boji tena, bjeloočnice i zuba	82
4.2.2. Percentile za fotogrametrijske vrijednosti L^* , a^* i b^* za boju tena, bjeloočnice i zuba	83
4.2.3. Odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri mjerenja od prosječne vrijednosti za parametre boje L^* , a^* i b^*	83
4.2.3.1. Percentile za srednju razliku (%) između tri ponavljana mjerenja i prosječne vrijednosti.....	85
4.2.3.2. Odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri ponavljanja od prosječne vrijednosti za parametre boje zuba L^* , a^* i b^* ; usporedba istih odstupanja između podataka dobivenih fotogrametrijski naspram podataka izmjerenih uživo	86
4.2.4. Korelacije između fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka za boju zuba, bjeloočnice i tena	88
4.2.4.1. Korelacije između fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka za boju zuba	88
4.2.4.2. Korelacije boje zuba s bojom tena i bjeloočnice – fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka	89
4.2.4.2.1. Dijagrami raspršenja (L^* , a^* i b^*) i korelacija između boje zuba naspram boje tena i bjeloočnice – određene fotogrametrijski.....	90

4.2.4.2.2. Dijagrami raspršenja (L^* , a^* i b^*) i korelacija između boje zuba naspram boje tena i bjeloočnice – određene uživo.....	91
4.2.5. Linearna regresijska analiza s parametrima boje zuba (L^* , a^* , b^*) kao zavisnim varijablama te parametrima boje tena i bjeloočnice kao prediktorima	92
4.2.5.1. Linearna regresijska analiza za parametar L^* fotogrametrijski određene boje zuba	93
4.2.5.2. Linearna regresijska analiza za parametar a^* fotogrametrijski određene boje zuba	95
4.2.5.3. Linearna regresijska analiza za parametar b^* fotogrametrijski određene boje zuba	97
4.2.5.4. Linearna regresijska analiza za parametar L^* uživo izmjerene boje zuba	99
4.2.5.5. Linearna regresijska analiza za parametre a^* i b^* uživo izmjerene boje zuba ...	101
4.2.6. Neuronska mreža-predikcija uživo izmjerenih parametri boje zuba (L^* , a^* , b^*) iz fotogrametrijskih podataka o boji tena, bjeloočnice i zuba	101
5. RASPRAVA	106
5.1. Karakteristike uzorka i metodološki pristup.....	107
5.2. Usporedba antropometrijske i fotogrametrijske metode.....	108
5.3. Analiza boje zuba, tena i bjeloočnice: kolorimetrijski nalazi.....	124
6. ZAKLJUČCI	135
7. LITERATURA	138
8. ŽIVOTOPIS S POPISOM RADOVA	154
9. PRILOZI	
PRILOG 1. INFORMIRANI PRISTANAK ZA SUDJELOVANJE U ISTRAŽIVANJU	
PRILOG 2. PROTOKOL ISTRAŽIVANJA	
PRILOG 3. Google Forms	
PRILOG 4. Upitnik za određivanje Fitzpatrickova fototipa kože	

POPIS KRATICA

RED	ponavljajuća estetska dentalna proporcija (engl. <i>recurring esthetic dental</i>)
DPC	digitalna fotokolorimetrija
SPM	spektrofotometrija
CIE	međunarodna komisija za rasvjetu (fra. <i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>)
CIELAB	matematički model/prostor boje (engl. <i>color space</i>) opisan s tri vrijednosti L^* , a^* , b^*
L^*	svjetlina (engl. <i>lightness</i>), od 0 = crna do 100 = bijela
a^*	crveno–zelena os, od negativnih vrijednosti = zelena do pozitivnih = crvena
b^*	žuto–plava os, od negativnih vrijednosti = plava do pozitivnih = žuta
CIEDE2000	matematički model/prostor boje; nomenklatura iz 2001. godine (engl. <i>color space – newer nomenclature from year 2001</i>)
PT	prag zamjetljivosti (engl. <i>perceptibility threshold</i>)
AT	prag prihvatljivosti (engl. <i>acceptability threshold</i>)
GDPR	opća uredba o zaštiti podataka (engl. <i>General Data Protection Regulation</i>)
DSLR	digitalni zrcalno-refleksni fotoaparati (engl. <i>digital single-lens reflex</i>)
RGB	aditivni model boja – crveno-zeleno-plavi sustav (engl. <i>red green blue system</i>)
ADC	analogno-digitalni pretvornik
RAW	sirovi format fotografije
.CR2	naziv ekstenzije za Canon RAW 2 fotoaparati (engl. <i>extension for Canon RAW 2</i>)
BMI	indeks tjelesne mase (engl. <i>body mass index</i>)
NHP	prirodni položaj glave (engl. <i>natural head position</i>)
ISO	međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. <i>International Organization for Standardization</i>)
2D	dvodimenzionalno

3D	trodimenzionalno
SD	standardna devijacija
LED	dioda koja emitira svjetlost (engl. <i>light-emitting diode</i>)
ΔE	standardna pogreška boje
K	kelvin, mjerna jedinica za temperaturu
D55/D65	oznaka CIE za standardni dnevni izvor svjetlosti (engl. <i>standard daylight illuminant</i>)
RDA	relativna dentinska abrazivnost (engl. <i>relative dentin abrasion</i>)
AM	antropometrija
PM	fotogrametrija

1. UVOD

1.1. Estetika lica i osmijeha u suvremenoj dentalnoj medicini

Estetika lica i osmijeha danas zauzima središnje mjesto u suvremenoj dentalnoj medicini, odražavajući sve veće zahtjeve kako pacijenata, tako i kliničara za postizanjem optimalne estetske harmonije. Tijekom povijesti ljudske civilizacije kriteriji ljepote i estetike kontinuirano su se mijenjali prilagođavajući se kulturnim, društvenim i tehnološkim trendovima. Premda su temeljna načela facijalnih proporcija, posebice one koje se odnose na donju trećinu lica, bila definirana još u doba antičke Grčke i renesanse, njihova precizna kvantifikacija i sustavna primjena u okvirima suvremene estetske dentalne medicine, ortodoncije i protetike još uvijek predstavlja predmet intenzivnih istraživanja i stručnih rasprava (1,2).

Privlačnost i skladnost lica u velikoj mjeri ovise o proporcijama i anatomskim karakteristikama donje trećine lica, koja je pak izravno povezana sa skeletnim i dentalnim parametrima oralnog i ortodontskog statusa pojedinca (3,4). Donja trećina lica ne predstavlja samo strukturni element fizionomije već ima ključnu ulogu u percepciji cjelokupnog facijalnog izgleda. Različiti terapijski pristupi uključujući ortodontsku terapiju, ortognatsku kirurgiju, ekstrakcijsku terapiju, miofunkcionalnu ortodontsku terapiju u kombinaciji s fiziološkim rastom i razvojem, kao i protetsku rehabilitaciju uz primjenu raznovrsnih protetskih nadomjestaka mogu značajno pridonijeti poboljšanju estetike ukupnog izgleda lica i osmijeha (4,5).

Estetski ishod terapije predstavlja vrlo bitan parametar uspješnosti liječenja u dentalnoj medicini te ima podjednaku važnost i za pacijenta i za terapeuta. U svakodnevnom kliničkom radu terapeuti kontinuirano procjenjuju generalnu estetiku lica i osmijeha svojih pacijenata iz mnogobrojnih razloga. Parametri boje, oblika i veličine zuba predstavljaju iznimno važne čimbenike pri postavljanju dijagnoze i plana terapije, kao i pri odabiru optimalnih terapijskih postupaka, osobito u stomatološkoj protetici i ortodonciji (6,7). Ključno je sve terapijske postupke skladno integrirati s ostalim facijalnim obilježjima svakog pojedinog pacijenta kako bi se postigla optimalna estetska harmonija i prirodan izgled (8).

Međutim, procjena estetike lica i osmijeha predstavlja značajan metodološki izazov u kliničkoj praksi i znanstvenim istraživanjima. Sustavni pregled literature identificirao je veliku različitost u protokolima i parametrima koji se koriste za procjenu dentofacijalne estetike, naglašavajući potrebu za razvojem sveobuhvatnog estetskog indeksa za objektivnu evaluaciju koji bi uključivao

standardizirane parametre poput linije osmijeha, širine zuba, odnosa gingive i drugih relevantnih faktora (9). Dodatno, istraživanja pokazuju da doktori dentalne medicine i laici različito percipiraju estetske promjene, pri čemu su doktori dentalne medicine općenito kritičniji u procjeni što dodatno naglašava potrebu za razvojem standardiziranih testova percepcije i objektivnih mjernih instrumenata (10). Ova metodološka raznolikost i razlike u percepciji između stručnjaka i laika predstavljaju kontinuirani izazov u uspostavljanju univerzalnih standarda estetske evaluacije.

1.2. Antropometrijska mjerenja i facijalne proporcije

Antropometrija, kao znanost o preciznom mjerenju dimenzija i proporcija ljudskog tijela, ima temeljnu ulogu u razumijevanju facijalne estetike i harmonije. Tijekom povijesti, antropometrijske metode razvijale su se od jednostavnih vizualnih procjena do sofisticiranih digitalnih tehnika mjerenja. Definiranje ekstraoralnih antropometrijskih točaka koje najpreciznije opisuju izgled glave i lica predstavlja kontinuirani izazov jer do danas ne postoji univerzalno prihvaćen standard koji bi bio primjenjiv u smislu određivanja prihvatljivih proporcija lica u vertikalnoj i sagitalnoj dimenziji za sve promatrane populacije (11).

1.2.1. Klasična antropometrijska pravila

Za određivanje harmonije lica u vertikalnoj dimenziji tradicionalno se koriste dva osnovna pravila koja su svoje temelje pronašla još u klasičnoj antropometriji. Prvo pravilo odnosi se na cjelokupno lice i poznato je kao pravilo "tri trećine". Prema ovom pravilu, udaljenost od točke *trichion* (linija vlasišta) do *glabelle* (najistaknutija točka između obrva), od *glabelle* do *subnasale* (najniža točka nosne baze) i od *subnasale* do *mentona* (najniža točka brade) trebala bi biti približno jednaka, čime se lice dijeli na tri jednake horizontalne trećine (11,12). Drugo pravilo, poznato kao omjer 1:2, odnosi se specifično na orofacijalni dio i sugerira da udaljenost između točaka *subnasale* i *stomion* (središnja točka između usana u zatvorenom položaju) treba iznositi približno polovicu udaljenosti između točaka *stomion* i *menton* (12).

Ovi klasični kriteriji, premda široko prihvaćeni i primjenjivani u kliničkoj praksi, prema rezultatima suvremenih istraživanja pokazuju značajna odstupanja u različitim populacijama. Opsežna digitalna procjena facijalnih proporcija provedena na velikom uzorku od 637 ispitanika (prosječna dob 22,1 godina, raspon 18 – 40 godina) koristeći standardizirane frontalne fotografije u tri faze

(mirovanje, forsirani osmijeh, intraoralna fotografija) pokazala je da pet od sedam vertikalnih proporcija i sve transverzalne proporcije blisko odgovaraju zlatnoj proporciji (engl. *divine ratio*) (1,618), uz statistički značajne razlike između spolova (13). Ovi nalazi sugeriraju da iako postoje određeni univerzalni obrasci facijalnih proporcija, nužno je provoditi studije u različitim populacijama kako bi se utvrdile populacijski specifične norme koje će biti primjenjive u kliničkom okruženju (13).

Za određivanje harmonije u sagitalnoj dimenziji, za razliku od vertikalne, ne postoje tako jasno definirani klasični parametri, te se u literaturi pretežno nailazi na istraživanja koja se fokusiraju na analizu mekih tkiva. Dentoskeletalni odnosi postali su odlučujući čimbenik u modernoj analizi lica jer se smatra da su meka tkiva u uskoj vezi s konfiguracijom tvrdih tkiva, odnosno da morfologija kostiju lica i zuba izravno utječe na izgled prekrivajućih mekih tkiva (14).

1.2.2. Korelacije između facijalnih mjera i veličine prednjih zuba

Istraživanja su pokazala statistički značajne korelacije između ekstraoralnih mjera i veličine prednjih zuba promatranih iz frontalnog aspekta, što ima važne praktične implikacije za planiranje protetskih nadomjestaka (3). Ove korelacije potvrđuju postojanje predvidljivih odnosa između određenih facijalnih dimenzija i veličine središnjih sjekutića, što je osobito korisno u situacijama kada prirodni zubi nisu dostupni kao referenca, primjerice kod planiranja potpunih proteza ili opsežnih protetskih rehabilitacija (3). Dodatna istraživanja fokusirala su se na analizu omjera širine i dužine normalnih kliničkih kruna gornjih prednjih zuba te korelacije između dentalnih proporcija i facijalnih mjerenja, pri čemu su pronađene statistički značajne korelacije između određenih facijalnih dimenzija i proporcija prednjih zuba (15). Ovi nalazi dodatno podupiru koncept facijalne harmonije i ističu potrebu za individualiziranim pristupom u estetskoj rehabilitaciji koji uzima u obzir specifične karakteristike svakog pacijenta.

Detaljna analiza gornjih prednjih zuba i facijalnih proporcija provedena na populaciji od 100 turskih studenata pokazala je da su središnji sjekutići i očnjaci u muškoj populaciji značajno veći nego u ženskoj, te nisu potvrdili univerzalnu primjenu zlatne proporcije. Ovo istraživanje predložilo je da bizigomatična širina (udaljenost između najlateralnije točke zigomatičnog luka) i interalarna širina (udaljenost između najlateralnije točke nosnih krila) mogu služiti kao korisne

reference pri određivanju idealne širine prednjih zuba, posebno za žensku populaciju (16). Ovakvi nalazi naglašavaju važnost razmatranja spolnih razlika pri planiranju estetskih zahvata.

1.2.3. Multicentrične i populacijske studije facijalnih parametara

Multicentrična međurasna studija facijalnih parametara koja je obuhvatila različite etničke skupine pružila je važan uvid u univerzalnost i varijabilnost facijalnih proporcija (1). Rezultati ove studije pokazali su da nema statistički značajne razlike između spolova u sedam frontalnih ekstraoralnih parametara, te nisu pronađene značajne statističke razlike između šest rasnih skupina u pet od sedam frontalnih ekstraoralnih parametara. Ova studija naglašava postojanje određenih univerzalnih facijalnih proporcija koje su zajedničke različitim populacijama, ali također ukazuje na važnost razmatranja rasnih i etničkih specifičnosti u analizi facijalne estetike i planiranju terapije (1).

Standardne facijalne proporcije dobivene iz srednjih vrijednosti populacije mogu poslužiti kao vrijedna referenca za procjenu facijalnih proporcija u planiranju terapije i evaluaciji terapijskog ishoda koristeći iste frontalne fotogrametrijske izmjere (4,17). Međutim, važno je napomenuti da ove srednje vrijednosti predstavljaju tek polaznu točku u kliničkom odlučivanju i da individualne varijacije mogu biti značajne i moraju se uzeti u obzir pri izradi individualiziranog terapijskog plana (18).

1.2.4. Zlatna proporcija i matematički modeli u dentalnoj estetici

Zlatna proporcija, matematički izražena kao omjer 1:1,618 (ϕ = phi), predstavlja jedan od najstarijih i najfascinantnijih matematičkih koncepata koji se povezuje s estetikom, harmonijom i ljepotom u prirodi i umjetnosti. Ovaj omjer, koji se može pronaći u mnogim prirodnim fenomenima, od spirala školjki do rasporeda listova na biljkama, kroz povijest je fascinirao matematičare, umjetnike i znanstvenike. U dentalnoj medicini, primjena zlatne proporcije prvi put je predložena 1973. godine, kada je sugerirana poveznica između prirode, matematike i dentalne estetike. Prema ovoj teoriji, širina gornjih postraničnih sjekutića gledanih sprijeda trebala bi biti u zlatnoj proporciji širine gornjih središnjih sjekutića, a širina očnjaka u zlatnoj proporciji širine postraničnih sjekutića, čime bi se postigla optimalna estetska harmonija osmijeha (2).

Međutim, suvremena znanstvena istraživanja temeljena na strogim i zahtjevnim metodološkim pristupima i velikim uzorcima pokazuju znatno kompleksniju i drugačiju sliku od ove idealizirane teorije. Opsežna metaanaliza koja je uključila šest studija o zlatnoj proporciji u prirodnim osmijesima jasno pokazuje da empirijski dokazi ne podupiru postojanje zlatne proporcije na prirodnim zubima te zaključuje da je zlatna proporcija u dentalnoj estetici više mit nego stvarnost (19). Sistematski pregled literature dodatno potvrđuje ove nalaze, zaključujući da ne postoji jedinstvena matematička formula koja može pouzdano predvidjeti estetski uspjeh u dentalnoj rehabilitaciji (20). Globalni pregled koji je analizirao 52 članka objavljenih između 2000. i 2020. godine dodatno potvrđuje da zlatna proporcija nije dosljedna među različitim populacijama te preporučuje kulturno-specifičan i individualiziran pristup pri restauraciji prednjih zuba (21).

Studije provedene na različitim populacijama širom svijeta dodatno potvrđuju heterogenost i nedosljednost u primjenjivosti zlatne proporcije. Evaluacija zlatne proporcije, zlatnog postotka (engl. *golden percentage*) i RED-ponavljajuće estetske dentalne proporcije (engl. *recurring esthetic dental*) koja se odnosi na idealne omjere širine prednjih zubi (širina središnjeg sjekutića, postraničnog sjekutića i očnjaka u odnosu na njihovu dužinu trebala bi biti podjednaka, 1:1:1) na kenjskoj populaciji afričkog podrijetla ($n = 175$, dob 18 – 35 godina) pokazala je da zlatna proporcija ne vrijedi konzistentno u ovoj populaciji, te da RED proporcija varira distalno (22). Slično, istraživanje provedeno na kineskoj populaciji s najatraktivnijim osmijesima ($n = 88$ ispitanika) pokazalo je da percipirana širina postraničnog sjekutića značajno korelira s percipiranom širinom središnjeg sjekutića, ali s omjerom postraničnog prema središnjem od približno 0,729, što je značajno različito od zlatne proporcije (23).

Kao alternativa zlatnoj proporciji, u literaturi su razvijeni drugi matematički modeli za određivanje idealnih dentalnih proporcija, poput RED i zlatnog postotka (idealni omjeri vidljivosti prednjih šest zubi, 25 % za središnji sjekutić, 15 % za postranični i 10 % za očnjak, za optimalnu estetiku skladnog osmijeha). Međutim, istraživanja pokazuju da ni ove alternative nisu konstantne između različitih populacija, te da uspješna restauracija zahtijeva individualni pristup koji uzima u obzir specifične karakteristike pacijenta, a ne univerzalnu primjenu jedne matematičke formule (21). Ovi nalazi imaju važne praktične implikacije za kliničare, naglašavajući potrebu za fleksibilnim pristupom koji kombinira znanstvene spoznaje s kliničkim iskustvom i individualiziranim razmatranjem estetskih potreba svakog pacijenta.

1.3. Facijalna atraktivnost i indeksi ljepote

Atraktivnost lica prema nekim istraživanjima nije apstraktan ili subjektivan koncept već kvantitativno dobro definirana anatomska karakteristika koja se može mjeriti i analizirati pomoću objektivnih parametara. Opsežan pregled povijesti i suvremenih koncepata analize facijalne atraktivnosti identificirao je četiri najvažnija faktora koji determiniraju ljepotu odnosno atraktivnost lica: prosječnost (engl. *averageness*), spolni dimorfizam (engl. *sexual dimorphism*), mladolikost (engl. *youthfulness*) i simetrija (engl. *symmetry*) (4). Ova četiri faktora čine temelj suvremenog znanstvenog razumijevanja facijalne atraktivnosti i pružaju okvir za objektivnu evaluaciju estetike lica.

Prosječnost, kao koncept, odnosi se na stupanj u kojem pojedinačno lice odgovara matematičkoj prosječnosti populacije, i u brojnim istraživanjima pokazala se kao najvažniji faktor u određivanju atraktivnosti lica i indeksa ljepote. Prosječnost sugerira da se lica koja predstavljaju matematičku prosječnost populacije, bez ekstremnih ili neobičnih karakteristika, često percipiraju kao najatraktivnija. Simetrija lica, kao drugi ključni faktor, ima najveći pozitivan utjecaj na kategorizaciju lica kao atraktivnog (4). Asimetrije, osobito u osjetljivim i vizualno prominentnim dijelovima lica poput orbita, nosa i usana, mogu značajno smanjiti percepciju atraktivnosti i narušiti harmoniju facijalnog izgleda (24).

Spolni dimorfizam odnosi se na karakteristike koje jasno razlikuju muška od ženskih lica i doprinose percepciji muževnosti odnosno ženstvenosti. Primjeri uključuju izraženije čeljusti i nadočne lukove kod muškaraca ili punije usne i zaobljenije crte lica kod žena (4). Mladolikost se odnosi na karakteristike koje su tipične za mlađa lica i koje se općenito percipiraju kao atraktivne, poput glatke kože bez bora, punih usana, velikih očiju i jasno definiranih kontura lica (4). Važno je napomenuti da percepcija atraktivnosti ovih karakteristika može varirati između kultura i vremenskih razdoblja.

Harmonija, disharmonija i disproporcija lica ovise o kvaliteti veza između individualnih kraniofacijalnih mjera, a statistički izračun ove veze predstavlja indeks proporcije. Na atraktivnom licu indeksi proporcije nalaze se u optimalnom odnosu, statistički u rasponu srednje vrijednosti ± 1 standardna devijacija (SD) (24). Međutim, važno je napomenuti da samo proporcionalno lice čije su mjere u okviru normalne distribucije nije nužno i atraktivno lice jer drugi faktori kao što su kvaliteta kože, boja očiju, ekspresivnost i cjelokupna harmonija također igraju važnu ulogu.

Disproporcija ili blaža disharmonija osjetljivih dijelova lica mogu značajno umanjiti estetiku lica čak i kada su ostali parametri u normalnom rasponu (24).

Primjena 3D (trodimenzionalne) stereofotogrametrije kao zlatnog standarda za precizna facijalna mjerenja omogućila je detaljnu analizu facijalnih omjera i njihova odnosa s percepcijom atraktivnosti (18). Istraživanje provedeno na uzorku od 400 3D fotografija, od kojih je odabrano 60 ispitanika (15 vrlo atraktivnih i 15 normalno atraktivnih po spolu), pokazalo je da nisu potvrđene dosljedne zlatne relacije kroz sve mjere. Zaključak je bio da zlatni odnosi nisu univerzalni i da efekt atraktivnosti ovisi o spolu, kontekstu mjerenja i interakciji različitih facijalnih karakteristika (18). Ovi nalazi naglašavaju složenost facijalne atraktivnosti i ograničenja pojednostavljenih matematičkih modela.

1.4. Fotogrametrija i digitalna analiza u stomatologiji

Budući da je percepcija estetski zadovoljavajućeg izgleda u velikoj mjeri subjektivan proces podložan individualnim preferencijama i varijabilnosti između promatrača, u kliničkoj praksi postoji potreba za objektivnim i mjerljivim parametrima koji omogućuju procjenu facijalne harmonije, proporcionalnih odnosa i odstupanja od populacijskih normi koje se u literaturi povezuju s harmoničnim izgledom lica i osmijeha. Digitalna fotogrametrija predstavlja jednu od najpouzdanijih, najdostupnijih i najisplativijih metoda za objektivizaciju facijalne analize u svakodnevnoj kliničkoj praksi i znanstvenim istraživanjima (25).

1.4.1. Prednosti digitalne fotogrametrije

Standardizirane facijalne proporcije dobivene iz srednjih vrijednosti populacije mogu poslužiti kao vrijedna referenca za procjenu facijalnih proporcija u planiranju terapije i evaluaciji terapijskog ishoda koristeći iste frontalne fotogrametrijske izmjere (4,5). Metodologija za procjenu promjena facijalnih dimenzija iz postraničnih i frontalnih fotografija postavila je temelje za standardizaciju fotografskih protokola u ortodonciji i protetici te pokazala važnost dosljedne metodologije u longitudinalnim studijama praćenja rasta i razvoja te terapijskih ishoda (26). Ovi protokoli omogućuju pouzdano dokumentiranje inicijalnog stanja, praćenje promjena tijekom terapije i objektivnu evaluaciju konačnih rezultata.

1.4.2. 3D stereofotogrametrija i standardizacija protokola digitalne fotogrametrije

Trodimenzionalna stereofotogrametrija predstavlja naprednu tehnologiju koja omogućava kvantificiranje facijalnih odnosa i usporedbe atraktivnosti s visokom preciznošću i ponovljivošću (18). Za razliku od tradicionalne 2D (dvodimenzionalne) fotografije, 3D metode omogućuju mjerenje ne samo u dvije dimenzije već i analizu volumena i kontura mekih tkiva, što pruža potpuniju i precizniju sliku facijalne morfologije. Ova tehnologija omogućava stvaranje detaljnih 3D modela lica koji se mogu analizirati iz različitih kutova i perspektiva, mjeriti volumetrijske promjene i pratiti kroz vrijeme, što je osobito korisno u ortodonciji, rekonstruktivnoj protetici, ortognatskoj kirurgiji i plastičnoj kirurgiji (18).

Primjena standardizirane frontalne fotografije u tri faze (mirovanje, forsirani osmijeh, intraoralna fotografija) omogućava sveobuhvatnu analizu transverzalnih i vertikalnih proporcija digitalnom obradom, pri čemu se mogu identificirati značajne spolne razlike i populacijske varijacije. Standardizirani digitalni protokoli pokazali su se korisnima za kliničko planiranje i istraživanje populacijskih varijacija, omogućujući usporedbu podataka između različitih studija i populacija (13).

Standardizacija fotografskih protokola ključna je za pouzdanost i ponovljivost mjerenja te za mogućnost usporedbe rezultata između različitih istraživanja i kliničkih okruženja (25,27). Ključni elementi standardizacije uključuju: kontrolirano osvjetljenje s poznatom temperaturom boje (idealno 5500 K (kelvin) dnevno svjetlo), standardiziranu neutralnu pozadinu (obično siva ili plava), konzistentnu udaljenost i kut kamere (obično 1 – 1,5 metara s lećom na razini očiju pacijenta), korištenje kalibracijskih standarda (poput sive kartice), RAW (sirovi) format snimanja koji omogućava maksimalnu fleksibilnost u naknadnoj obradi, te standardizirane postavke kamere uključujući bljeskalicu, otvor blende i ISO (međunarodna organizacija za standardizaciju; engl. *international organization for standardization*) vrijednost (28,29). Pridržavanje ovih standarda omogućava postizanje konzistentnih i pouzdanih rezultata.

1.4.3. Digitalna analiza boje zuba

Osim dimenzionalnih analiza, digitalna fotogrametrija omogućava i preciznu analizu boje zuba što je od ključne važnosti u estetskoj dentalnoj medicini. Usporedba intraoralnog skenera s dokazanim subjektivnim i objektivnim metodama na uzorku od 33 sudionika pokazala je da intraoralni skener

ima pouzdanost od 87,9 % i valjanost ΔE (standardna pogreška-delta E) = 3,8 (klinički prihvatljivo) u odnosu na referentni spektrofotometar (30). *In vivo* usporedba digitalne fotokolorimetrije (DPC) i spektrofotometrije (SPM) na 60 sjekutića tridesetero ispitanika pokazala je da iako DPC i SPM metodologije pokazuju numeričke razlike, one su međusobno korelirane s prosječnom razlikom boja $\Delta E_{ab} = 11,5 \pm 3,1$ (33). Zaključeno je da je standardizirana digitalna fotometrija valjana alternativa za određivanje boje zuba kada se primjenjuju strogi protokoli standardizacije (31).

Sistematski pregled i metaanaliza 13 studija zaključili su da kompjutorizirane/digitalne metode (fotografija i spektrofotometrija) proizvode manje razlike u boji i manje netočnih podudaranja od vizualnih ključeva boja (32). Analiza podskupina sugerira da digitalna fotografija daje značajno smanjenje ΔE vrijednosti, što ukazuje na bolju točnost u usporedbi s vizualnim metodama, dok spektrofotometri nisu uvijek nadmašili vizualne ključeve u apsolutnim ΔE vrijednostima, što može biti povezano s ograničenjima točkastih mjerenja (32). Ovi nalazi naglašavaju potencijal digitalne fotografije kao pouzdanog alata za određivanje boje zuba u kliničkoj praksi.

1.5. Normativne baze podataka i populacijski specifični standardi

Normativne baze podataka predstavljaju temelje za razumijevanje normalnih varijacija i prosječnih vrijednosti antropometrijskih i kolorimetrijskih parametara u određenoj populaciji. Ove baze sadržavaju standardizirano mjerena obilježja koja nakon detaljne statističke raščlambe predstavljaju dobru osnovu za opis populacije na određenom zemljopisnom području (17). Postojeća istraživanja u hrvatskim i širim europskim okvirima daju samo pojedine parametre estetike, ne uzimajući u potpunosti u obzir njihove međusobne odnose i interakcije (15). Normativna baza podataka koja bi sadržavala glavne parametre bitne za estetiku donje trećine lica bila bi posebno primjenjiva za odabir adekvatne protetske i ortodontske terapije, omogućujući terapeutima da temelje svoje odluke na objektivnim, populacijski specifičnim podacima (3,16).

Više sustavnih pregleda literature o zlatnoj proporciji, RED proporciji i zlatnom postotku jasno ističe da se dentalne proporcije i estetski standardi značajno razlikuju među rasama, etničkim skupinama i geografskim regijama te da su lokalne, populacijski specifične norme ključne za uspješnu ortodontsku i protetsku terapiju (19 – 23). Primjena normi razvijenih na jednoj populaciji na drugu populaciju može dovesti do neadekvatnih estetskih rezultata koji ne odgovaraju lokalnim percepcijama ljepote i harmonije (14).

U europskim okvirima, a posebno u hrvatskom kontekstu, postoji značajan nedostatak sveobuhvatnih normativnih baza podataka koje bi integrirale dimenzionalne i kolorimetrijske parametre donje trećine lica (15). Potrebna su dodatna, metodološki zahtjevna istraživanja koja će obuhvatiti širi spektar parametara i veći reprezentativni uzorak kako bi se stvorila sveobuhvatna normativna baza koja će biti primjenjiva u kliničkoj praksi (17). Takva baza podataka omogućila bi kliničarima da uspoređuju individualne pacijente s normama njihove populacije te da donose informirane odluke o terapijskim pristupima.

1.6. Boja zuba i facijalna harmonija

1.6.1. Značaj boje zuba u estetici osmijeha

Boja zuba smatra se jednim od najvažnijih, ako ne i najvažnijim faktorom u percepciji lijepog i privlačnog osmijeha kod pacijenata (7,33). Određivanje adekvatne boje zuba smatra se jednim od najvećih izazova prilikom pokušaja postizanja prirodnog izgleda osmijeha (34). Brojne studije provedene u različitim populacijama dosljedno potvrđuju da boja zuba predstavlja primarnu determinantu percipirane atraktivnosti osmijeha i uspješnosti restaurativnih zahvata, često nadmašujući važnost oblika i veličine zuba (35 – 37). Od iznimne je važnosti na pravilan način odrediti boju zuba kao i uskladiti boju zuba ili buduće protetske restoracije s okolnim zubima te bojom tena kože kako bi se postigla optimalna estetska harmonija (8,25).

Premda većina ljudi u zapadnim kulturama percipira bjelje i svjetlije zube kao ljepše i poželjnije, što je djelomično rezultat medijskog utjecaja i trendova u estetskoj medicini (7), zapravo je važnije uskladiti boju zuba s okolnim strukturama, posebice bojom tena, kako bi se uspostavila harmonija cjelokupnog lica te postigao što prirodniji osmijeh (38). Istraživanje provedeno na 328 ispitanika utvrdilo je da optimalna atraktivnost ovisi o interakciji između boje zubi i boje kože, pri čemu je harmonija između ovih elemenata ključna za percepciju estetskog osmijeha (39). Studija u kojoj su laički ispitanici ocjenjivali 51 digitalno modificiranu sliku zubnih lukova s različitim varijacijama boje utvrdila je negativnu linearnu korelaciju između razlike u boji (ΔE) i estetskih ocjena, pri čemu su niže ocjene započinjale pri vrijednostima $\Delta E \approx 3,1$, što ukazuje na perceptivne pragove za prihvatljivost razlika u boji (40). Ovi nalazi imaju važne praktične utjecaje za planiranje protetskih rehabilitacija.

Osim dimenzionalnih obilježja, kao važni parametri estetike promatrani su i parametri boje zuba, bjeloočnice (sklere) i puti (kože) jer se smatra da harmonija između ovih elemenata doprinosi cjelokupnoj atraktivnosti lica (41,42). Istraživanja odnosa između prirodne boje zuba i boje kože pokazala su statistički značajne korelacije, iako priroda i snaga ovih korelacija variraju između različitih populacija (6). Proširena analiza koja je uključivala mjerenja boje zuba pod standardnim i nestandardnim osvjetljenjem te njihovu usklađenost s bojom kože pokazala je da uvjeti osvjetljenja značajno utječu na percipirane odnose između ovih parametara (43).

Mjerenje boje zuba spektrofotometrom i boje kože lica i usana na standardiziranim slikama utvrdilo je više korelacije između L^* (svjetlina) zubi i L^* i b^* (žuto-plava os) kože, kao i pozitivnu korelaciju između L^* gornjeg središnjeg sjekutića i a^* (crveno-zelena os) vrijednosti usana (44). Ovi nalazi sugeriraju da CIELAB (matematički model/prostor boje, engl. *color space*) parametri kože i usana mogu informirati i usmjeravati odabir umjetnih zubi pri izradi protetskih nadomjestaka, osobito potpunih proteza gdje nedostaju prirodni zubi kao referenca (44,45).

1.6.2. CIELAB sustav boja

Za preciznu kvantifikaciju boje u dentalnoj medicini koristi se CIELAB sustav boja, koji je postao međunarodni standard u dentalnoj kolorimetriji i omogućava objektivnu komunikaciju o boji između kliničara, istraživača i zubnih tehničara (46,47). Ovaj sustav opisuje boju u tri dimenzije: L^* (svjetlina, od 0 = crna do 100 = bijela), a^* (crveno-zelena os, od negativnih vrijednosti = zelena do pozitivnih = crvena) i b^* (žuto-plava os, od negativnih vrijednosti = plava do pozitivnih = žuta) (47,48). Ova trodimenzionalna reprezentacija omogućava precizno numeričko opisivanje bilo koje boje u vidljivom spektru.

Boja se može definirati kao složen subjektivni i objektivni fenomen uzrokovan različitim podražajima koji nastaje kada svjetlost karakterističnog spektra pobudi fotoreceptorske stanice (čunjići i štapići) u mrežnici oka (8,49). CIELAB sustav korelira s Munsellovom definicijom koja boju određuje putem triju svojstava: nijansom (kvaliteta boje, engl. *hue*), stupnjem zasićenosti (intenzitet boje, engl. *chroma*) i svjetlinom (svjetlina ili tamnoća boje, engl. *value*), pri čemu L^* korelira sa svjetlinom, dok a^* i b^* zajedno opisuju nijansu i zasićenost (50).

CIELAB prostor boja rutinski se koristi u dentalnim istraživanjima za izvještavanje o koordinatama boje zubi i za izračunavanje razlika u boji (ΔE_{ab} i CIEDE2000 ΔE_{00}) (CIEDE2000 – matematički

model/prostor boje, nomenklatura iz 2001. godine (engl. *color space-newer nomenclature from year 2001.*) u kliničkim i laboratorijskim studijama (46,47). Prednost $L^*a^*b^*$ sustava je što omogućava precizno numeričko opisivanje boje i izračunavanje razlike boja (ΔE) između dva uzorka, što je ključno za objektivnu procjenu estetskih ishoda, praćenje promjena boje tijekom vremena i komunikaciju između kliničara i dentalnih tehničara (47,51).

Najčešće korištena formula izvedena iz CIELAB sustava za izračunavanje razlike boja je:

$$\Delta E_{ab} = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0,5}$$

Klinička interpretacija ΔE vrijednosti temelji se na pragovima perceptibilnosti PT (engl. *perceptibility threshold*) – najmanji ΔE koji promatrač može detektirati) i prihvatljivosti AT (engl. *acceptability threshold*) – najveći ΔE koji je klinički prihvatljiv) koji su definirani u brojnim dentalnim istraživanjima (46,47). Izviješteni pragovi za dentalnu medicinu su: CIELAB perceptibilnost (PT) = 1,2 i prihvatljivost (AT) = 2,7; CIEDE2000 perceptibilnost (PT) = 0,8 i prihvatljivost (AT) = 1,8 (47). Ovi pragovi predstavljaju 50:50 % vjerojatnost da će promatrač detektirati ili prihvatiti razliku u boji između dva uzorka. Istraživanja pokazuju da pragovi prihvatljivosti CIEDE2000 variraju ovisno o regiji zasićenosti: $\Delta E_{\infty} = 2,84$ (niska zasićenost), 2,31 (srednja zasićenost) i 1,80 (visoka zasićenost), pri čemu su razlike između skupina bile statistički značajne (52). Ovo ukazuje da je ljudsko oko osjetljivije na razlike u boji kod zasićenijih, kromatičnijih uzoraka.

1.6.3. Faktori koji utječu na boju zubi

Mnogi faktori mogu utjecati na boju zuba, uključujući dob, spol, etničku pripadnost, prehranu, navike (pušenje, konzumacija kave i čaja), oralnu higijenu, sistemske bolesti i izloženost fluoru tijekom razvoja zuba (41,45). Starenjem, zubi prirodno postaju tamniji i više žuti zbog kombinacije faktora: zadebljanje dentina, stanjivanje i povećana prozirnost cakline, akumulacija obojenih tvari u zubnim tkivima i mikrostrukturne promjene (53,54). Velika multicentrična studija na 1004 ispitanika u kojoj je boja zubi mjerena spektrometrom utvrdila je da zubi s dobi tamne i postaju kromatičniji (zasićeniji), pri čemu su se promjene boje stabilizirale nakon 46. godine života (55). Studija provedena na 225 ispitanika iz Saudijske Arabije izvijestila je da prosječna L^* vrijednost zubi opada s dobi: Grupa I (18 – 29 godina) $L^* = 80,26$ u usporedbi s Grupom III (>50 godina) $L^* =$

76,66; b^* vrijednosti su rasle s dobi: Grupa I $b^* = 19,19$ u usporedbi s Grupom III $b^* = 22,72$, što jasno ukazuje na tamnije i žuće zube s dobi (56).

Ženska populacija uglavnom ima svjetlije zube od muške populacije, što je dosljedan nalaz u različitim populacijama i geografskim regijama (55,57). Studija na 674 ispitanika iz Koreje izvijestila je o opadanju L^* i porastu b^* s dobi ($p < 0,05$), značajnoj interakciji između spola i dobi na b^* vrijednosti, $F(2,668) = 3,489$, $p = 0,031$, parcijalni $\eta^2 = 0,010$, opažena snaga = 0,652, te da ΔE_{00} između spolova u starijim skupinama premašuje pragove kliničke prihvatljivosti (57). Ovo znači da su razlike u boji zuba između muškaraca i žena toliko velike da bi bile vidljive i klinički relevantne. Etnička pripadnost i geografska populacija također značajno utječu na boju zubi, što dodatno naglašava potrebu za populacijski specifičnim normativnim bazama podataka koje će odražavati karakteristike lokalne populacije (55).

1.7. Metode određivanja boje zuba

1.7.1. Vizualne metode

U dentalnoj medicini najčešće primjenjivana metoda određivanja boje zuba je vizualna metoda uz pomoć ključa boja, koja se temelji na klasičnom uspoređivanju boje zuba s bojama u standardiziranom ključu boja (58). Navedena metoda je lako dostupna, ekonomična, jednostavna za korištenje te učinkovito komparira boju zuba sa standardiziranim ključem boja koji sadrži reprezentativni raspon boja prirodnih zuba (59). S druge strane, određena istraživanja pokazuju kako je vizualna metoda određivanja boje zuba subjektivna (60) ponajviše zbog međuljudskih razlika u percepciji boje (61) te se kao najistaknutiji nedostaci ove metode ističu nepouzdanost, nestandardiziranost te nemogućnost adekvatne ponovljivosti mjerenja (62).

Odabir boje zuba prema ključu boja vizualnom metodom u potpunosti ovisi o promatranju ljudskim okom koje detektira razlike u boji intraoralno pod određenim standardiziranim uvjetima (63).

VITA Classical ključ boja (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) najpopularniji je i širom svijeta najčešće korišteni ključ boja u ordinacijama dentalne medicine i zubotehničkim laboratorijima (64,65). VITA Classical sastoji se od 16 keramičkih uzoraka organiziranih u četiri skupine prema nijansi (A – crvenkasto-smeđa, B – crvenkasto-žuta, C – siva, D – crvenkasto-siva), pri čemu svaka skupina sadrži različite stupnjeve svjetline (11). Povijesno, VITA Classical

pokrivao je samo približno 30 % prirodnog prostora boje zubi, što predstavlja značajno ograničenje u pokrivanju svih mogućih varijacija boje prirodnih zuba (66).

VITA 3D-Master dizajniran je kako bi bio sustavan i temeljen na kolorimetriji radi poboljšanja konzistentnosti odabira boje. Ovaj sustav sastoji se od 26 keramičkih uzoraka raspoređenih primarno prema svjetlini, sa zasićenošću vertikalno i nijansom horizontalno, što omogućava sistematičniji pristup odabiru boje (67). Studije izvještavaju o manje restauracija koje zahtijevaju korekciju nijanse i manjim ΔE vrijednostima između zuba i krunice kada se koristi 3D-Master u usporedbi s Classical sustavom (66,68).

Varijable koje utječu na određivanje boje vizualnom metodom mogu se podijeliti na subjektivne i fizikalne. Subjektivne varijable uključuju iskustvo kliničara, dob promatrača (starije osobe često imaju smanjenu osjetljivost na boje), zamor oka (produljeno promatranje smanjuje točnost), prosudbu i interpretaciju viđenog, emocionalno stanje te daltonizam ili druge poremećaje viđenja boja (69,70). Fizikalne varijable uključuju ekstremne uvjete osvjetljenja, vrstu i intenzitet izvora svjetlosti (prirodno dnevno svjetlo, fluorescentno svjetlo, LED (diode koja emitira svjetlost, engl. *light emitting diode*) svjetlo, kut prodora svjetlosti na zub, površinu zuba (vlažna ili suha, sjaj ili mat), boju pozadine te boju odjeće pacijenta i osoblja koja može reflektirati svjetlost i utjecati na percepciju boje (30,70). Interoperaterska pouzdanost vizualnog određivanja boje je umjerena do niska, s interoperaterskim slaganjem od približno 55 % za VITA Classical i 43 % za 3D-Master, što ukazuje na značajnu varijabilnost između različitih promatrača (71,72).

Obuka i edukacija materijalno utječu na ponovljivost i točnost vizualnog određivanja boje. Presječna obrazovna studija dokumentirala je značajno smanjenje pogreške nakon kliničke obuke: studenti druge godine inicijalno su imali stope pogreške od 66,6 % (umjetni zubi) i 80,8 % (prirodni zubi), dok su studenti treće godine nakon obuke smanjili pogreške na 35,8 % i 53,3% respektivno. Istraživanja su pokazala da ženska populacija postiže znatno bolje rezultate u određivanju boje zuba od muške populacije, što može biti povezano s boljom percepcijom boja i pažnjom na detalje (69,73).

Studije koje koriste lampe kalibrirane na dnevno svjetlo (D55/D65/ \approx 6500K) oznaka CIE za standardni dnevni izvor svjetlosti (engl. *standard daylight illuminant*) pokazuju da kalibrirane operatorne jedinice mogu performirati usporedivo s D55 referentnom lampom kada su pravilno podešene i održavane (28,74). Kontrolirani radovi pokazuju da neutralne sive pozadine daju bolju

točnost od crnih ili ružičastih pozadina jer siva pozadina minimizira utjecaj simultanog kontrasta (75). Budući da su prirodni zubi polikromatski s različitim bojama u cervikalnoj, središnjoj i incizalnoj trećini, segmentalni odabir (odabir boje za svaku trećinu posebno) značajno smanjuje rizik neslaganja u usporedbi s odabirom na jednoj točki (76).

1.7.2. Instrumentalne metode

Kako bi se prevladala ograničenja i varijabilnost vizualnih metoda, razvijene su različite instrumentalne metode za objektivno mjerenje boje zubi, uključujući spektrofotometre, kolorimetre, digitalne kamere i intraoralne skenere (25,26,77,78). Instrumentalne metode određivanja boje zubi značajno smanjuju pogreške nastale subjektivnim parametrima prisutnima kod vizualne metode određivanja boje, omogućavajući objektivno, ponovljivo i kvantitativno mjerenje (25,36).

1.7.2.1. Spektrofotometrija

Spektrofotometar je visoko sofisticiran uređaj koji posjeduje niz mogućnosti, od različitih postupaka određivanja boje prirodnog zuba te keramičkog materijala do provjere točnosti klasičnog ključa boja ili digitalnog prijenosa izmjerenih podataka u dentalni laboratorij (51,64). Spektrofotometar je vrlo precizan i pouzdan uređaj koji mjeri valne duljine vidljivog dijela spektra koji se odbija od površine promatranog zuba, omogućavajući detaljnu analizu spektralnih karakteristika (79). Spektrofotometar određuje boju mjereći količinu svjetlosne energije koja je reflektirala od objekta u intervalima veličine 1 – 25 nm kroz cijeli vidljivi spektar (približno 380 – 780 nm), što omogućava vrlo detaljnu karakterizaciju boje (80,81).

Spektrofotometar ima integrirano osvjetljenje unutar samog uređaja te je stoga neosjetljiv na različite uvjete vanjskog osvjetljenja, a to mu je i najveća prednost s obzirom na to da je svjetlost u prostoriji jedan od najvažnijih čimbenika koji utječu na određivanje boje zuba vizualnom metodom (81,82). Koristi dva tipa geometrijskih mjerenja – mjerenje cijele površine zuba (često 5 – 10 mm promjer) te mjerenje samo jedne točke (engl. *spot measurement*) (obično 2 – 3 mm promjer) (83). Ta se mjerenja međusobno razlikuju u kutu refleksije, osvjetljenju te kombinaciji senzora i filtera, pri čemu svaki pristup ima svoje prednosti i ograničenja (84).

Analizirajući dostupne podatke recentnih znanstvenih istraživanja, VITA Easyshade spektrofotometar pokazuje visoku točnost i ponovljivost u usporedbi s vizualnim određivanjem boje zuba (75,85,86). Klinička studija na 107 ispitanika usporedila je vizualnu metodu (stomatolog i zubni tehničar), VITA Easyshade Advance 4.0 (referentni uređaj) i Trios Color skener, pri čemu su rezultati pokazali sljedeće točnosti: Trios skener 43,9 %, stomatolog vizualno 35,5 %, zubni tehničar vizualno 34,6 %; ponovljivost skenera 78,3 % i Easyshade 76,6 % (87). Studija na 33 ispitanika koristeći pozicionirane udlage izvijestila je o pouzdanosti: VITA Easyshade 75,8 %, Trios skener 87,9 %, SpectroShade Micro 89,9 %, pri čemu je valjanost u odnosu na Easyshade referencu izražena kroz ΔE vrijednosti bila: intraoralni skener $\Delta E = 3,8$ (klinički prihvatljivo), uređaj za mjerenje cijele površine $\Delta E = 8,3$ (neprihvatljivo), vizualna metoda $\Delta E = 7,4$ (neprihvatljivo) (30).

Standardizirana *in vitro* studija izvijestila je o pouzdanosti različitih uređaja: ShadeVision 99,0 %, SpectroShade 96,9 %, VITA Easyshade 96,4 %, ShadeScan 87,4 %, te točnostima: VITA Easyshade 92,6 %, ShadeVision 84,8 %, SpectroShade 80,2 %, ShadeScan 66,8 %, pri čemu su razlike između parova bile statistički značajne (88). Ovi nalazi pokazuju da postoje značajne razlike u performansama između različitih komercijalnih uređaja.

Instrumentalne metode općenito pokazuju znatno veću intraoperatorsku/intrauređajnu pouzdanost od vizualnog odabira. Studija je izvijestila o intraoperatorskoj pouzdanosti za vizualni odabir 48 – 64 % i za Easyshade 96 % u istoj studiji na 40 ispitanika (71). Dokumentirano je da je intrauređajna ponovljivost bila visoka kroz cervikalne, središnje i incizalne regije (ICC = 0,516 – 0,986; $\Delta E < 3,03$), ali interuređajna ponovljivost bila je niža (ICC = 0,010 – 0,922; $\Delta E = 4,06 – 16,04$), što potvrđuje osjetljivost na geometriju i područje mjerenja (78).

Na rezultate mjerenja spektrofotometrom mogu utjecati brojni faktori kao što su zakrivljenost površine zuba (konveksne površine mogu uzrokovati gubitak svjetlosti na rubovima mjerne površine), translucencija (prozirnost cakline omogućava prodor svjetlosti i refleksiju od dubljih slojeva), neravnomjerna boja zuba (polikromatizam), starenje filtera uređaja i drugi tehnički faktori (88,89). Utvrđena je statistički značajna linearna korelacija između kuta mjerenja i L^*/a^* vrijednosti za neke zube ($p < 0,008$), što ukazuje da male devijacije kuta mijenjaju izmjerene koordinate i naglašava važnost standardiziranog pozicioniranja (90). Kvantificirani su učinci polikromatizma i utvrđeno da instrumentalni doprinos vizualnoj grešci pokrivenosti doprinosi >50

% (raspon 53,2 – 82,4 %) ukupnoj vizualnoj grešci pokrivenosti, što ukazuje na značajna ograničenja instrumenata i ključeva boja za višezonske, polikromatske zube (76).

1.7.2.2. Digitalna fotografija i fotokolorimetrija

Digitalna fotografija predstavlja komplementarnu metodu instrumentalnom mjerenju koja omogućava snimanje potpunog izgleda zuba uključujući teksturu, translucenciju, polikromatizam i površinske karakteristike te olakšava komunikaciju s dentalnim laboratorijem (32,91). Sistematski pregled i metaanaliza 13 studija zaključili su da kompjutorizirane/digitalne metode (fotografija i spektrofotometrija) proizvode manje razlike u boji i manje netočnih podudaranja od vizualnih ključeva boja ukupno (32). Analiza podskupina sugerira da digitalna fotografija daje značajno smanjenje ΔE vrijednosti u usporedbi s vizualnim metodama, dok spektrofotometri nisu uvijek nadmašili vizualne ključeve u apsolutnim ΔE vrijednostima, što može biti povezano s ograničenjima točkastih mjerenja koja ne zahvaćaju cjelokupnu kompleksnost boje zuba (32).

Studija na 60 zubi utvrdila je značajne razlike između Easysshade spektrofotometra i standardizirane digitalne fotografije za L^* , a^* , b^* koordinate (spektrofotometar je mjerio zube svjetlijima i žućima nego kamera) te visoku pouzdanost fotografskog protokola (31). Standardizacija fotografskih protokola ključna je za pouzdanost i reproducibilnost mjerenja (27,31,92,93). Ključni elementi standardizacije uključuju: pozicioniranje i regiju snimanja (konzistentna udaljenost i kut), ponavljanje 2-3 puta s pozicioniranim udlagama za osiguranje konzistentnosti, uključivanje sive/bijele reference (kalibracijskog standarda) i korištenje tijekova rada za korekciju boje (engl. *color correction workflows*), te korištenje stabilnog, standardiziranog izvora svjetla i bilježenje temperature boje (obično dnevno svjetlo 5500 K) (28 – 30,32,92,93).

1.7.3. Usporedba metoda

Sistematski pregled i metaanaliza uspoređujući instrumentalne i vizualne metode određivanja boje objedinila je šest *in vivo* studija i utvrdila da instrumentalne metode imaju značajno manji ΔE od vizualnih metoda: združena srednja razlika MD = -1,10 (95% CI -1,92 do -0,27), p = 0,009 (94). Razlike među podskupinama ovisile su o klasi uređaja: spektrofotometri, digitalne kamere i pametni telefoni bili su superiorniji u usporedbi s vizualnim metodama; intraoralni skeneri nisu bili

značajno različiti od vizualne metode, što može biti povezano s tehničkim ograničenjima skenera u reprodukciji boje (94,95).

Premda spektrofotometrija predstavlja zlatni standard za objektivno mjerenje boje zubi, postoje određena ograničenja ove metode koja je važno razumjeti. Spektrofotometar mjeri boju na jednoj točki ili prosječnoj površini, što rezultira gubitkom informacija o teksturi, translucenciji i površinskim karakteristikama zuba koje su vidljive golim okom (76,96). Spektrofotometrijska mjerenja imaju poteškoća u preciznom bilježenju translucencije i opaciteta, koji su ključni za postizanje prirodnog izgleda restauracija, osobito u incizalnom području (67,96). Točkasta mjerenja ne mogu adekvatno zabilježiti polikromatizam prirodnih zuba (cervikalne, središnje i incizalne varijacije), što zahtijeva višestruka segmentalna mjerenja i komplicira klinički protokol (52,76).

Digitalna fotografija nudi nekoliko prednosti u usporedbi sa spektrofotometrijom. Fotografija bilježi kompletne vizualne informacije uključujući teksturu, translucenciju i površinske karakteristike koje su ključne za komunikaciju s dentalnim laboratorijem i postizanje prirodnog izgleda (97,98). Digitalna fotografija omogućava vizualizaciju i dokumentiranje cervikalno-središnje-incizalnih varijacija boje na cijelom zubu, pružajući cjelovitu sliku polikromatizma. Fotografije olakšavaju komunikaciju sa zubnim tehničarom, omogućavajući mu da vidi cjelokupni estetski kontekst uključujući okolne zube, gingivu i usne te bolje razumije zahtjeve i očekivanja (32,87). Digitalne kamere su pristupačnije i ekonomičnije od spektrofotometara, što ih čini dostupnijima širem krugu kliničara (65,94).

1.8. Određivanje boje tena

Boja tena predstavlja jednu od ključnih sastavnica ukupne estetike lica te ima važnu ulogu u percepciji harmonije osmijeha i lica u cjelini. U estetskoj i restaurativnoj dentalnoj medicini već se desetljećima razmatra mogućnost povezivanja boje zuba s bojom tena kao potencijalne smjernice pri odabiru odgovarajuće nijanse zuba, osobito u situacijama kada referentni zubi nedostaju ili su značajno promijenjene boje, kao što je slučaj kod potpunih proteza ili opsežnih protetskih rehabilitacija (45). Unatoč dugogodišnjem interesu i brojnim istraživanjima, odnos između boje zuba i boje tena i dalje nije u potpunosti razjašnjen, a rezultati dosadašnjih istraživanja često su

heterogeni i međusobno teško usporedivi zbog razlika u metodologijama, populacijama i mjernim tehnikama (99).

Pojedina istraživanja upućuju na obrnuto proporcionalnu povezanost između boje tena i svjetline zuba, pri čemu ispitanici s tamnijim tenom pokazuju svjetlije zube, dok osobe svjetlijeg tena imaju relativno tamnije zube (99). Ova paradoksalna veza može biti rezultat vizualnog kontrasta – svjetliji zubi izgledaju još svjetlijima u kontrastu s tamnijom kožom. Suprotno tome, druga istraživanja ne potvrđuju postojanje statistički značajne korelacije ili navode samo slabe povezanosti, čime se dovodi u pitanje klinička primjenjivost boje tena kao pouzdanog vodiča za odabir boje zuba (6,54).

Istraživanja koja proširuju ovo područje uključivanjem boje očiju kao dodatne varijable zaključuju da boja zuba pokazuje određene obrasce povezanosti s pigmentacijom kože i očiju, ali da ti odnosi nisu dovoljno snažni da bi se koristili kao samostalni kriterij pri odabiru nijanse zuba (42). Istraživanje provedeno na saudijskoj populaciji ističe da dob i individualne karakteristike značajno utječu na boju zuba i kože te dodatno kompliciraju uspostavu univerzalnih pravila odnosa između tih varijabli (56).

Važno je naglasiti da boja tena nije statična kategorija, već dinamična karakteristika koja se može značajno mijenjati tijekom godine i tijekom života. Sezonske promjene, osobito povećana izloženost Sunčevoj svjetlosti i ultraljubičastom zračenju tijekom ljetnih mjeseci, mogu dovesti do privremenog potamnjenja kože (engl. *tanning*), dok u zimskom razdoblju dolazi do postupnog posvjetljivanja tena (100,101). Osim sezonalnosti, boja tena uvjetovana je i brojnim drugim čimbenicima, uključujući genetiku (količina i distribucija melanina), dob (promjene pigmentacije s godinama), hormonalni status (trudnoća, menopauza), nutritivni status (deficit vitamina), prisutnost kožnih bolesti (vitiligo, melazma) te uporabu kozmetičkih i dermatoloških preparata (samotoneri, retinoidi) (56,101).

U kontekstu dentalne estetike, sve veći broj autora naglašava da boja zuba ne bi trebala biti promatrana izolirano, već u odnosu na okolna tkiva, uključujući usne, gingivu, kožu lica, ali i bjeloočnicu oka (41,42). Pokazano je da sklad između boje zuba i boje kože ima značajan utjecaj na percipiranu atraktivnost osmijeha (39), dok neka novija istraživanja sugeriraju da je bliskost boje zuba i bjeloočnice povezana s većim zadovoljstvom pacijenata estetskim ishodom terapije (38). Upravo iz tog razloga u ovoj disertaciji dodatno se istražuje i odnos boje zuba s bojom

bjeloočnice u prirodnim, kliničkim uvjetima, iako se boja bjeloočnice ne određuje *in vivo* instrumentalnim mjerenjem, već fotogrametrijskom analizom standardiziranih fotografija.

U ovom istraživanju korelacija između boje zuba i boje tena analizirana je primjenom fotogrametrijskih metoda, koristeći standardizirane digitalne fotografije obrađene u softveru Adobe Photoshop. Takav pristup omogućuje kvantitativnu analizu boje u CIELAB sustavu te istovremeno odražava uvjete koji su bliski svakodnevnoj kliničkoj praksi. Cilj ovog dijela istraživanja bio je dobiti podatke koji bi mogli imati praktičnu vrijednost u planiranju protetske rehabilitacije, osobito u situacijama kada je instrumentalno određivanje boje zuba otežano ili nedostupno, pri čemu se rezultati interpretiraju u kontekstu ispitivane populacije.

Postoji više metoda određivanja boje i tipa tena, uključujući vizualne procjene, instrumentalne metode poput spektrofotometrije te metode samoprocjene (99,101). Jedna od najčešće korištenih metoda samoprocjene je Fitzpatrickova skala, koja se temelji na reakciji kože na izlaganje ultraljubičastom zračenju (100). Fitzpatrickova skala, koju je 1975. godine razvio Thomas B. Fitzpatrick, danas se široko koristi u dermatologiji za klasifikaciju tipova kože prema količini pigmenta i osjetljivosti na Sunčevo zračenje, te obuhvaća šest tipova od tipa I (vrlo svijetla koža koja uvijek izgori, nikad ne potamni) do tipa VI (vrlo tamna koža koja nikad ne izgori) (100).

U ovom istraživanju Fitzpatrickova skala korištena je u skraćenom obliku, prilagođenom ispitivanoj populaciji. Budući da su svi ispitanici bili pripadnici europske populacije, korištene su tri kategorije: svijetli ten (odgovara tipu I), srednji ten (tip II) te tamniji ten (tip III). Procjena tipa kože temeljila se na odgovaranju ispitanika na standardizirana pitanja Fitzpatrickova protokola, pri čemu su se bodovi zbrajali i koristili za razvrstavanje ispitanika u odgovarajuću skupinu.

Uključivanjem boje tena i boje bjeloočnice u analizu odnosa s bojom zuba, ova disertacija nastoji pridonijeti boljem razumijevanju estetskih odnosa u orofacijalnom području. Takav pristup u skladu je sa suvremenim konceptima estetske dentalne medicine, koji naglašavaju da uspješna protetska rehabilitacija ne ovisi isključivo o točnosti pojedinačne nijanse zuba, već o skladnom uklapanju pacijenata tijekom terapijskog procesa te njihovo zadovoljstvo pruženom uslugom (102,103).

Iako se dentalna fotografija često percipira prvenstveno kao alat estetske dentalne medicine, njezina je primjena znatno šira te ima važnu ulogu u ortodonciji (dokumentiranje inicijalnog stanja i

praćenje progresu), protetici (za procjenu detalja i estetiku osmijeha) parodontologiji (praćenje recesija gingive i promjena u mekim tkivima), implantologiji (dokumentiranje kirurških faza i estetskih ishoda), oralnoj kirurgiji (dokumentiranje patologija i postoperativnog tijeka) i dentalnoj tehnici (komunikacija između kliničara i tehničara) (102,103). Digitalna dentalna fotografija omogućuje detaljnu analizu kliničkog stanja te može otkriti promjene koje tijekom rutinskog kliničkog pregleda ostaju neopažene ili su nesvjesno zanemarene, osobito u složenim kliničkim situacijama gdje je teško istovremeno pratiti sve relevantne detalje (102).

Osim u kliničkoj praksi, dentalna fotografija ima važnu ulogu i u provođenju kliničkih i znanstvenih istraživanja. Standardizirane fotografije omogućuju prikupljanje objektivnih podataka o morfologiji, boji i teksturi tvrdih i mekih oralnih tkiva te njihovu kvantitativnu analizu, često s većom razinom ponovljivosti nego što je moguće postići isključivo kliničkim pregledom (103). Najčešće primjene dentalne fotografije uključuju medicinsko-pravnu dokumentaciju (dokumentiranje stanja prije i nakon terapije za pravnu zaštitu), komunikaciju između kliničara i dentalnog laboratorija (prijenos informacija o boji, obliku i teksturi), izradu profesionalnih portfelja pacijenata (dokumentiranje uspješnih slučajeva) te edukacijske i marketinške svrhe (prezentacije, publikacije, promocija usluga) (102,103). U tom kontekstu iznimno je važno naglasiti i pravni aspekt dentalne fotografije, koji podrazumijeva obvezno pribavljanje pisane informirane suglasnosti pacijenta prije fotografiranja, kao i odgovorno postupanje s osobnim podacima uz očuvanje identiteta i privatnosti pacijenta u skladu s GDPR (opća uredba o zaštiti podataka, engl. *general data protection regulation*) propisima (102).

Razvojem digitalnih tehnologija fotografiranje je postalo tehnički dostupnije i jednostavnije, no unatoč tome dio doktora dentalne medicine i dalje oklijeva u uvođenju dentalne fotografije u svakodnevni rad. Najčešći razlozi uključuju nedovoljno poznavanje fotografske opreme i tehnike, percepciju fotografiranja kao složenog i vremenski zahtjevnog postupka, potrebu za dodatnom edukacijom i treningom, te financijske troškove nabave opreme (kamera, objektiv, bljeskalice, pozadine) (102). Dodatni izazov predstavlja i kontinuirani tehnološki napredak, koji može zahtijevati učestalo obnavljanje opreme i dodatna ulaganja u nove tehnologije. Unatoč navedenim ograničenjima, suvremeni koncepti dentalne medicine jasno ukazuju na to da digitalna fotografija postaje nezaobilazan dio kvalitetne dijagnostike, planiranja terapije i praćenja njezinih ishoda.

Prilikom odabira fotoaparata za dentalnu primjenu, ključni kriterij predstavlja mogućnost postizanja visoke kvalitete slike prilagođene specifičnim potrebama dentalne struke. Profesionalni digitalni zrcalno-refleksni fotoaparati (engl. *digital single-lens reflex*, DSLR) smatraju se zlatnim standardom u dentalnoj fotografiji, budući da sustav s jednom lećom omogućuje eliminaciju paralakse (fenomena gdje se slika u tražilu razlikuje od slike na senzoru) i time osigurava visoku preciznost prikaza dentalnih struktura (102). Paralaksa nastaje kada leća i tražilo nisu na istoj optičkoj osi, zbog čega se prizor vidljiv u tražilu razlikuje od onoga zabilježenog na digitalnom senzoru, što je u dentalnoj fotografiji gdje je potrebna milimetarska preciznost neprihvatljivo (103).

U digitalnoj fotografiji slika nastaje djelovanjem svjetlosti na fotosenzitivni senzor sastavljen od velikog broja piksela (obično 12 – 50 megapiksela u dentalnim kamerama). Svaki piksel registrira intenzitet svjetlosti tijekom određene duljine ekspozicije i generira električni signal proporcionalan količini upadne svjetlosti. Budući da senzori mogu reproducirati samo crno-bijelu sliku (detektiraju samo intenzitet svjetlosti), za dobivanje informacije o boji koriste se filtri za tri osnovne boje – crvenu, zelenu i plavu (RGB - aditivni model boja-crveno zeleno plavi sustav (engl. *red green blue system*) koji su raspoređeni u Bayer pattern mreži (mreža filtera boja koja se koristi u digitalnim fotografijama) preko senzora (103). Analogni signal zatim se pomoću analogno-digitalnog pretvornika (ADC) pretvara u digitalne podatke koji se procesuiraju unutar fotoaparata ili naknadno računalnim softverom, primjerice Adobe Photoshopom, Adobe Lightroom ili sličnim programima. Jedna od ključnih prednosti digitalne fotografije jest mogućnost naknadne korekcije tehničkih parametara, uključujući ekspoziciju, kontrast, oštrinu, balans bijele boje i orijentaciju slike bez degradacije kvalitete ako se koristi RAW (engl. *sirovi*) format (103).

Poseban izazov u dentalnoj fotografiji predstavlja vjerna i precizna reprodukcija boje, koja je kritična za estetsku dentalnu medicinu. Za kliničku i istraživačku primjenu nužno je da fotografija što vjernije prikazuje boju tvrdih i mekih tkiva onako kako se percipiraju tijekom kliničkog pregleda pod standardiziranim uvjetima (103). To zahtijeva standardizirane uvjete snimanja i eliminaciju utjecaja različitih izvora svjetlosti koji mogu imati različite temperature boje i spektralne distribucije. Pravilna vizualizacija boje omogućuje uočavanje fizioloških i patoloških promjena, poput inicijalnih karijesnih lezija (bijele ili smeđe mrlje), stupnja translucencije cakline (važno za estetske restauracije), erozija (gubitak sjaja i površinske teksture), kao i praćenje

promjena boje zuba nakon izbjeljivanja (dokumentiranje progres) ili procjenu estetskog ishoda protetskih nadomjestaka (usporedba s okolnim zubima) (7,35).

Unatoč brojnim prednostima, problem standardizacije predstavlja jedno od glavnih ograničenja fotogrametrije. Istraživanja pokazuju da su fotografska mjerenja visoko konzistentna i ponovljiva kada se koriste strogi protokoli, no njihova apsolutna točnost može biti manja u usporedbi s instrumentalnim metodama poput spektrofotometrije, koja se često smatra zlatnim standardom u određivanju boje (103). Važno je istaknuti da spektrofotometar daje informaciju o boji jedne točke (obično 2-5 mm promjer) pod strogo definiranim uvjetima osvjetljenja (standardizirani izvor svjetlosti, kontrolirani kut mjerenja), dok digitalna fotografija omogućava analizu šireg područja i sagledavanje boje u kontekstu cjelokupne estetske slike uključujući okolne strukture (96).

Brojna istraživanja ukazuju na značaj digitalne fotografije u odabiru boje zuba, osobito u protetskoj rehabilitaciji, gdje se boja smatra jednim od ključnih čimbenika estetskog uspjeha (38,39). Pokazano je da je odabir boje temeljen na digitalnoj fotografiji, osobito uz primjenu polarizirajućih filtera, statistički značajno točniji u usporedbi s klasičnom vizualnom metodom, a u nekim slučajevima i u odnosu na instrumentalne metode (104). Polarizirajući filteri smanjuju refleksiju svjetlosti s površine zuba, omogućujući jasniji prikaz unutarnje strukture i stvarne boje zuba bez ometajućih refleksija (104,105).

Dodatno, istraživanja su pokazala da individualni čimbenici, poput spola, mogu utjecati na uspješnost odabira boje zuba, pri čemu žene u prosjeku postižu bolje rezultate u zadacima usklađivanja boje u odnosu na muškarce, što može biti povezano s boljom percepcijom boja i pažnjom na detalje (73). Ovi nalazi dodatno potvrđuju potrebu za objektivnijim i standardiziranim metodama procjene boje, kakve pruža digitalna fotografija uz primjenu strogih protokola.

U kontekstu metodologije ovog istraživanja, fotogrametrija je korištena kao neinvazivna i klinički primjenjiva metoda za procjenu boje zuba i njezina odnosa s bojom tena i bjeloočnice, uz strogo standardizirane uvjete snimanja i digitalnu analizu boje. Takav pristup omogućuje prikupljanje podataka koji su bliži stvarnim kliničkim uvjetima u usporedbi s isključivo instrumentalnim mjerenjima te pruža dodatni uvid u složene estetske odnose unutar lica i osmijeha.

Digitalna dentalna fotografija stoga predstavlja vrijedan alat koji ne samo da unapređuje kliničku praksu i komunikaciju između kliničara i dentalnog laboratorija, već ima i značajan potencijal u

znanstvenim istraživanjima usmjerenima na estetiku osmijeha, odabir boje zuba i analizu facijalnih harmonija.

1.9. Osnove za daljnja istraživanja

S obzirom da je koncept estetike teško kvantificirati i objektivizirati, analiza normativne baze podataka koristeći indekse koji će uključiti mjerljive čimbenike simetrije, proporcionalnosti i odnosa boja doprinijeti će boljem razumijevanju uobičajenih omjera i odnosa u promatranoj populaciji (17). U ovom istraživanju obuhvatit će se ponajprije parametri donje trećine lica, a osim dimenzionalnih obilježja, kao važni parametri estetike, biti će promatrani i parametri boje zuba, bjeloočnica i puti (6,43,44).

Premda postoje brojne studije o facijalnoj estetici, zlatnoj proporciji i dentalnim proporcijama, većina je provedena na neeuropskim populacijama poput azijskih, afričkih i sjevernoameričkih (1,16,22,23). Postoji jasna potreba za razvojem populacijski specifičnih normativnih podataka za hrvatsku populaciju koji će integrirati dimenzionalne i kolorimetrijske parametre (15). Takva normativna baza podataka bila bi od neizmjerne vrijednosti za planiranje ortodonske i protetske terapije omogućujući terapeutima da temelje svoje odluke na objektivnim, kvantitativnim podacima umjesto isključivo na subjektivnoj procjeni i kliničkom iskustvu (3,16).

Dodatno, primjena standardiziranih fotografskih protokola i digitalnih analitičkih metoda omogućava preciznu kvantifikaciju facijalnih i dentalnih parametara s visokom pouzdanošću i ponovljivošću (13,31,44). Kombinacija antropometrijskih mjerenja i kolorimetrijske analize u jednoj sveobuhvatnoj studiji pruža koristan pristup razumijevanju facijalne estetike i harmonije, omogućujući identifikaciju obrazaca i korelacija koje nisu vidljive kada se ovi parametri promatraju izolirano (44).

Ovo istraživanje ima za cilj popuniti ovu prazninu u literaturi stvaranjem sveobuhvatne normativne baze podataka za hrvatsku populaciju koja će objediniti ključne dimenzionalne i kolorimetrijske parametre donje trećine lica omogućavajući objektivizaciju odstupanja od norme koja bi mogla biti temelj estetike i poboljšanje kliničkih ishoda u estetskoj stomatologiji. Rezultati ovog istraživanja mogli bi poslužiti kao referentne vrijednosti za kliničare u Hrvatskoj i regiji, doprinijeti boljem razumijevanju estetskih standarda specifičnih za ovu populaciju te pružiti osnovu za buduća istraživanja koja će dodatno proširiti znanje o facijalnoj estetici i harmoniji.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Svrha ovog istraživanja jest sustavno ispitati postoje li značajne korelacije između ekstraoralnih antropometrijskih i fotogrametrijskih proporcija glave i donje trećine lica te intraoralnih mjerenja gornjih frontalnih zubi, kao i utvrditi može li se usporedbom odabranih parametara definirati optimalna, odnosno estetski prihvatljiva veličina i oblik frontalnih zubi u odnosu na antropometrijske značajke lica. Istraživanje obuhvaća integraciju objektivnih mjernih metoda, uključujući klasičnu antropometriju, fotogrametriju i instrumentalno određivanje boje, s ciljem dobivanja sveobuhvatnog uvida u međusobne odnose facijalnih i dentalnih obilježja.

Poseban naglasak stavljen je na analizu odnosa između boje zuba, boje tena i boje bjeloočnica, pri čemu se instrumentalno mjerenje boje zuba provodi spektrofotometrom. Time se nastoji osigurati objektivna i ponovljiva procjena kromatskih odnosa koji imaju ključnu ulogu u estetskoj percepciji osmijeha. Dobiveni rezultati trebali bi pridonijeti racionalnijem i individualiziranijem odabiru boje zuba u estetskoj i protetskoj rehabilitaciji, uz poštivanje prirodnih bioloških parametara i ukupne fizionomije osobe.

Istraživanje nadalje teži razvoju predikcijskog modela kojim bi se, na temelju antropometrijskih obilježja glave i lica, mogla procijeniti veličina i proporcije gornjih frontalnih zubi. Takav model imao bi praktičnu vrijednost u protetskoj rehabilitaciji, osobito pri odabiru veličine i oblika umjetnih zubi kod bezubih ili djelomično bezubih pacijenata, kao i u planiranju estetskih rekonstrukcija osmijeha. U tom antropometrijski ili dentalni parametar, već skup međusobno povezanih antropoloških mjera lica i zubi koji zajednički određuju ono što se percipira kao estetski zadovoljavajući izgled.

Nulta hipoteza istraživanja polazi od pretpostavke da ne postoji jedinstveni antropometrijski ili dentalni parametar, već skup međusobno povezanih antropoloških mjera lica i zubi koji zajednički određuju ono što se percipira kao harmoničan i zadovoljavajući izgled.

Sekundarna hipoteza pretpostavlja da, uz dimenzionalne i proporcionalne odnose, kromatski odnosi između boje zuba, boje bjeloočnica i boje tena značajno doprinose objektivnim estetskim karakteristikama analiziranih struktura.

Konačni cilj istraživanja jest uspostava prve normativne baze estetskih parametara donje trećine lica za hrvatsku populaciju. Takva baza omogućila bi definiranje deskriptivnih i referentnih

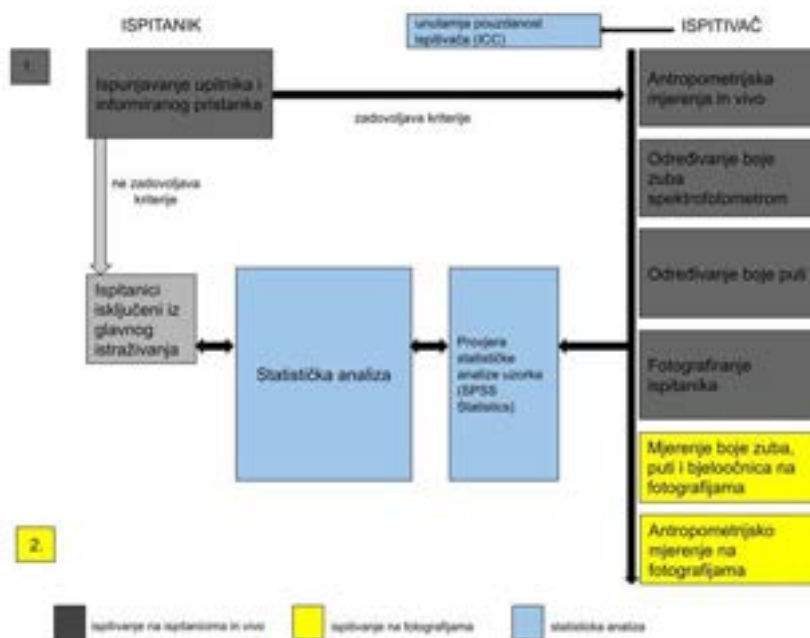
vrijednosti karakterističnih za ispitivanu populaciju te bi predstavljala znanstvenu podlogu za kliničku primjenu u estetskoj, restaurativnoj i protetskoj dentalnoj medicini.

3. ISPITANICI I POSTUPCI

3.1. Uzorak ispitanika

Uzorak se sastoji od ukupno 80 ispitanika od čega njih 72 sudjeluju u svim fazama istraživanja s obzirom na to da su zadovoljili kriterije istog. Od 72 ispitanika 18 je muških te 54 ženskih. Dobna skupina ispitanika je između 19 do 25 godina, s prosječnom dobi od 23 godine. Odabir ove dobne skupine temeljio se na činjenici da boja zuba značajno ovisi o dobi pacijenta, pri čemu se promjene boje stabiliziraju tek nakon četrdesete godine života (55,56). Svi ispitanici su studenti Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju koje je odobreno od strane Etičkog povjerenstva Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Broj: 05-PA-26-1/2016).

Istraživanje je provedeno tijekom zimskog perioda godine, unutar prva tri tjedna mjeseca ožujka, kada je prisutan najmanji utjecaj Sunčeve svjetlosti na boju tena (100,101). Ovakav vremenski odabir omogućio je minimiziranje sezonskih varijacija u pigmentaciji kože koje mogu nastati uslijed izloženosti ultraljubičastom zračenju tijekom ljetnih mjeseci (100). Plan istraživanja obuhvaćao je standardizirani protokol prikazan na dijagramu (Slika 1).



Slika 1. Dijagram protokola istraživanja

3.1.1. Kriteriji uključivanja i isključivanja

Pri odabiru ispitanika uključeni su ispitanici koji nikada nisu bili podvrgnuti ortodontskoj terapiji niti estetskim ili korektivnim zahvatima na licu (npr. operacije nosa ili brade, povećanje usnica ili obraza, ubrizgavanje hijaluronskih filera ili botoksa, izbjeljivanje zuba). Iako je većina ispitanika klasificirana u klasu I po Angleu, uključeni su i granični slučajevi (~8%) u klasi II ili III. Ovi kriteriji odabrani su kako bi eliminirali potencijalni faktori koji bi mogli utjecati na facijalne proporcije te kako bi se očuvala statistička snaga uzorka i osigurala njegova reprezentativnost. (1,4).

Iz istraživanja su isključeni svi ispitanici koji su imali bilo kakav protetski nadomjestak u području gornjih središnjih ili postraničnih sjekutića ili očnjaka (krunice, mostove, proteze, implantate) ili bilo kakav ekstenzivni protetski nadomjestak u postraničnoj regiji usne šupljine (više od jedne krunice, tročlanog mosta ili jednog implantata). Ova ograničenja postavljena su kako bi se osiguralo da sva mjerenja boje zuba budu provedena na prirodnim, nealteriranim zubnim strukturama (3).

3.1.2. Antropometrijski parametri ispitanika

Sva mjerenja na ispitanicima, kao i ispunjavanje upitnika, provodili su se u istraživačkom laboratoriju Zavoda za protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Svim ispitanicima izmjerena je visina tijela putem statične mjerke na zidu te težina tijela pomoću digitalne vage (Soehnle Professional, Backnang, Njemačka). Navedena mjerenja izvršena su radi dobivanja indeksa tjelesne mase (BMI, engl. *body mass index*) te su u istraživanje uključeni isključivo ispitanici čiji je indeks tjelesne mase bio između 18,5 – 24,9 kg/m² prema klasifikaciji Svjetske zdravstvene organizacije za europsko stanovništvo. Smatra se da bi vrijednosti izvan ovog raspona mogle utjecati na distorziju mekih tkiva te time dati nepouzdanu podatke antropometrijskih mjerenja (13,24). Ovaj kriterij posebno je važan u kontekstu facijalne antropometrije gdje distribucija masnog tkiva može značajno utjecati na facijalne proporcije i mjerenja (18).

3.1.3. Prikupljanje anamnestičkih podataka

Svi ispitanici ispunili su standardizirani upitnik putem Google forms aplikacije na tabletu u istraživačkom laboratoriju (Slika 2). Upitnik je sadržavao pitanja o općem informacijama i prethodnim dentalnim i medicinskim zahvatima (Slika 3). Također, upitnik je uključivao i standardiziranu pojednostavljenu Fitzpatrickovu skalu za procjenu tipa kože, koja je korištena za kategorizaciju ispitanika prema boji tena (100).



Slika 2. Ispunjavanje upitnika



Slika 3. Upitnik ispunjavan na tabletu

3.2. Uvjeti istraživanja i oprema

3.2.1. Istraživački laboratorij i uvjeti osvjetljenja

Dimenzije istraživačkog laboratorija su $2,5 \times 3$ metra s visinom stropa od 2,55 metara na kojem se nalaze četiri linearna rasvjetna tijela marke Osram jakosti 1000 W (model H64740, Osram GmbH, München, Njemačka). Laboratorij je izoliran od utjecaja vanjskog svjetla čime je osigurana kontrola uvjeta osvjetljenja (28,70).

Istraživanje je provedeno pod uvjetima umjetne rasvjete u skladu s CIE (fra. *Commission Internationale de l'Éclairage*) standardiziranim uvjetima (Just Normlicht, Weilheim der Teck, Njemačka), kako bi se reproducirali standardizirani klinički uvjeti koji su preporučeni za procjenu boje zuba (11,64). Jakost osvjetljenja iznosila je 6500 K (standardno dnevno svjetlo D65) i 1000 lux, što odgovara preporukama za optimalnu vizualnu i instrumentalnu procjenu boje u dentalnoj medicini (7,63).

Standardizacija uvjeta osvjetljenja od ključne je važnosti u istraživanjima koja uključuju kolorimetrijsku analizu, jer različiti izvori svjetlosti mogu značajno utjecati na percepciju i mjerenje boje (25,32). Korištenje standardiziranog osvjetljenja od 6500 K omogućava usporedbu rezultata s drugim istraživanjima i osigurava konzistentnost mjerenja (106).

3.2.2. Pozicioniranje ispitanika

Prilikom pripreme ispitanika za klinička mjerenja, ispitanik se pozicionirao na stolac s mehanizmom regulacije visine (Gharieni Group GmbH, Bremerhaven, Njemačka). Regulirala se visina glave ispitanika prema oznaci na zidu, ravnoj liniji paralelnoj s podom, do koje se namještao vrh glave tako da je paralelna i s bipupilarnom linijom kada je ispitanik sjedio u prirodnom položaju glave (NHP, eng. *natural head position*) te gledao ispred sebe (Slika 4) (17,26).



Slika 4. Pozicioniranje ispitanika

Prirodni položaj glave definira se kao standardizirana, ponovljiva pozicija glave u prostoru koja se postiže kada ispitanik sjedi ili stoji uspravno te gleda ravno ispred sebe u daljinu, fokusirajući pogled na razini očiju (107). Ova pozicija važna je za pouzdana antropometrijska mjerenja i fotografsku dokumentaciju jer eliminira varijabilnost uzrokovanu različitim nagibima glave (26,108). Ispitanici su upućeni da zauzmu opuštenu, prirodnu poziciju s neutralnim izrazom lica, bez namjernog zatezanja ili opuštanja facijalnih mišića.

3.3. Antropometrijska mjerenja

3.3.1. Instrumenti i postupak mjerenja

Mjerenja antropometrijskih dimenzija glave ispitanika provedena su pomičnom mjerkom, analognim kefalometrom (GPM Anthropological Instruments, Dübendorf, Švicarska) prema standardnim antropometrijskim smjernicama (13,24). Udaljenosti između definiranih antropometrijskih referentnih točaka određivane su izravnim postavljanjem vrhova instrumenta na odgovarajuće anatomske točke. Prije početka istraživanja, ispitivač je prošao trening za preciznu identifikaciju anatomske točke i tehniku mjerenja pomičnom mjerkom.

Svaka mjera određena je trima uzastopnim mjerenjima, a za daljnju analizu korištena je aritmetička sredina dobivenih vrijednosti te je prije svakog mjerenja provjeravana nula mjerke i ispravnost ljestvice prema uputama proizvođača (15,16). Ovaj protokol višestrukih mjerenja omogućio je izračunavanje aritmetičke sredine i procjenu pouzdanosti mjerenja kroz koeficijent varijacije (109). Tri uzastopna mjerenja predstavljaju optimalan broj koji omogućava pouzdanu procjenu bez prekomjernog produljenja vremena ispitivanja i zamora ispitanika (110).

Iako u ovom istraživanju nije provedena formalna analiza reproducibilnosti mjerenja primjenom intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC), pouzdanost prikupljenih mjerenja nastojala se osigurati strogom standardizacijom postupka. Sva mjerenja provodio je jedan educirani i prethodno trenirani ispitivač, čime je eliminirana interoperatorska varijabilnost, dok su anatomske referentne točke identificirane prema jasno definiranim kriterijima. Dodatno, svaka antropometrijska varijabla mjerena je tri puta uzastopno, a kao konačna vrijednost korištena je aritmetička sredina dobivenih mjerenja, čime je smanjen utjecaj slučajne pogreške mjerenja i povećana stabilnost rezultata (110).

3.3.2. Antropometrijske točke i mjerenja

Mjerenja su provedena između sljedećih anatomskih točaka: desni Zygion – lijevi Zygion; Trichion – Nasion; Nasion – Subnasale; Subnasale – Gnathion (Slika 5). Odabir ovih točaka temeljen je na klasičnoj antropometrijskoj metodologiji i omogućuje procjenu ključnih facijalnih dimenzija i proporcija (13,24).



Slika 5. Ekstraoralna mjerenja na ispitaniku - a) desni Zygion - lijevi Zygion; b) Trichion – Nasion; c) Nasion – Subnasale; d) Subnasale – Gnathion

Antropometrijske točke definirane su na sljedeći način:

Zygion (Zy) – najlateralnija točka zigomatičnog luka, palpirana bilateralno kako bi se osiguralo simetrično mjerenje.

Trichion (Tri) – točka na vrhu čela koja graniči s početkom vlasišta u sagitalnoj ravnini. Kod ispitanika s visokim ili niskim položajem vlasišta, točka se određuje na temelju tipične pozicije za dob i spol ispitanika.

Nasion (N) – najkonkavnija točka mekog tkiva na korijenu nosa u projekciji nazofrontalne suture, palpirana kako bi se osigurala precizna lokalizacija.

Subnasale (Sn) – točka gdje se kolumela (nosni stup) sastaje s kožnim dijelom gornje usne u sagitalnoj ravnini.

Gnathion (Gn) – najanteriornija i najniža točka mekog tkiva brade u sagitalnoj ravnini, određena palpacijom i vizualnom inspekcijom (24).

Navedena mjerenja odabrana su jer definiraju ključne facijalne dimenzije: visinu lica (Trichion – Gnathion) (Slika 6), širinu lica (Zygion – Zygion), visinu gornje trećine lica (Trichion – Nasion), visinu srednje trećine lica (Nasion – Subnasale) te visinu donje trećine lica (Subnasale – Gnathion) (18,24). Ove dimenzije omogućavaju procjenu vertikalnih i horizontalnih facijalnih proporcija te njihovu usporedbu s normativnim podacima populacije (4,18).



Slika 6. Mjerenje visine lica Trichion – Gnathion

3.3.2.1. Indeks disproporcije

Za procjenu vertikalnih proporcija lica u ovom istraživanju korišten je indeks disproporcije, koji je dobiven usporedbom izmjerenih visina pojedinih facijalnih segmenata sa stvarnom ukupnom visinom lica, a primijenjen je za istraživanje povezanosti disproporcija čeljusti s dimenzijama zuba i facijalnim parametrima.

Mjerenja facijalnih segmenata provedena su direktnom antropometrijom pomoću analogne mjerke, pri čemu je svaka varijabla izmjerena tri puta uzastopno, a kao konačna vrijednost korištena je aritmetička sredina. Indeks disproporcije predstavlja kvantitativnu mjeru koja omogućava objektivnu procjenu vertikalnih proporcija lica, odnosno odstupanja pojedinih facijalnih segmenata od idealnih ili referentnih morfoloških vrijednosti. Ovaj parametar uspoređuje stvarnu visinu određenog dijela lica, poput gornje ili donje čeljusti, s očekivanom visinom koja bi bila optimalna u odnosu na ukupnu visinu lica. Rezultat se izražava u postocima, pri čemu pozitivna vrijednost označava da je određeni dio lica proporcionalno veći nego što bi trebao biti, dok negativna vrijednost ukazuje na proporcionalnu redukciju. Vrijednosti blizu nule smatraju se idealnim proporcijama.

Uključivanje indeksa disproporcije u ovo istraživanje bilo je motivirano s nekoliko ključnih razloga. Prije svega, ovaj parametar posjeduje značajnu kliničku relevantnost jer omogućava doktorima dentalne medicine, specijalistima protetike i ortodontije te maksilofacijalnim kirurzima objektivnu procjenu vertikalnih proporcija lica, što je od velike važnosti u planiranju ortodontskih, protetskih i kirurških zahvata te predviđanju estetskih ishoda tretmana. Harmonične proporcije lica ključne su za estetsku percepciju osmijeha, a odstupanja od idealnih proporcija mogu utjecati na izgled osmijeha, vidljivost zuba, odnos usana i zuba te ukupnu facijalnu harmoniju. Nadalje, prije ovog istraživanja nisu postojali normativni podaci o vrijednostima indeksa disproporcije za mladu odraslu hrvatsku populaciju, što je predstavljalo značajan nedostatak u znanstvenoj literaturi. Konačno, cilj u ovom istraživanju bio je istražiti jesu li disproporcije čeljusti povezane s dimenzijama zuba i ukupnim dimenzijama lica, čime bi se doprinijelo boljem razumijevanju odnosa između morfoloških i estetskih parametara orofacijalnog kompleksa.

Ovo istraživanje predstavlja prvi pokušaj uspostave normativnih vrijednosti indeksa disproporcije za mladu odraslu hrvatsku populaciju. Kvantitativna metodologija koja je korištena omogućava

objektivnu, brojčanu mjeru vertikalnih disproporcija koja se može koristiti u kliničkoj praksi. Pokazano je kako se vertikalne disproporcije odnose prema dentalnim dimenzijama, što proširuje razumijevanje složenih odnosa između morfoloških i estetskih karakteristika orofacijalnog kompleksa. Nalazi ovog istraživanja potvrđuju da svaka populacija ima specifične obrasce proporcija, što naglašava važnost lokalnih normativnih baza podataka.

3.3.3. Dentalna mjerenja

Nakon antropometrijskih mjerenja *in vivo* na glavi ispitanika, postavio se plastični retractor, držač usana C oblika, prethodno steriliziran (Cotisen, Huanghua Promisee Dental Co., Ltd, Kina) kako bi se provelo mjerenje na zubu (102). Korištenje retractora omogućilo je adekvatan pristup zubima i eliminiralo utjecaj mekih tkiva usana na vizualizaciju i mjerenje (103). Pomičnom digitalnom mjerkom (Alpha Tools, Bahag AG, Mannheim, Njemačka) s rezolucijom od 0,01 mm izvršena su mjerenja dimenzija zuba ispitanika. Sva mjerenja provodio je jedan iskusni ispitivač, čime je osigurana konzistentnost tehnike mjerenja i eliminirana interoperatorska varijabilnost (17).

Pomičnom digitalnom mjerkom učinila su se mjerenja dužine zuba (Slika 7) (udaljenost od točke sredine spoja girlande gingive i cakline labijalne plohe zuba do incizalnog ruba) te širine zuba (Slika 8) (najširi meziodistalni promjer labijalne plohe zuba na razini kontaktnih točaka) (3,15) (Slika 9). Sva mjerenja učinjena su tri puta uzastopno, te se prije svakog mjerenja rekalibrirao uređaj za mjerenje prema uputama proizvođača. Sva mjerenja upisana su u standardizirani obrazac.



Slika 7. Mjerenje *in vivo* dužine gornjeg desnog središnjeg sjekutića



Slika 8. Mjerenje *in vivo* širine gornjeg desnog središnjeg sjekutića



Slika 9. Intraoralna mjerenja; 11h dužina desnog gornjeg središnjeg sjekutića, 11w širina desnog gornjeg središnjeg sjekutića

Odabir desnog gornjeg središnjeg sjekutića temeljen je na činjenici da ovaj zub igra ključnu ulogu u harmoniji osmijeha i da je najvidljiviji tijekom govora i osmijeha (2). Dodatno, ovaj zub često se koristi kao referenca u protetskoj rehabilitaciji i ortodontskim analizama (3,15).

Gornji središnji sjekutići imaju ključnu ulogu u percepciji estetski zadovoljavajućeg osmijeha, a njihova vertikalna pozicija, simetrija i proporcije značajno utječu na percepciju atraktivnosti osmijeha kao i proporcionalnosti i usklađenosti estetski zadovoljavajućeg izgleda čitavog lica, osobito u planiranju protetske i ortodontske terapije (2,111–113).

3.4. Spektrofotometrijska mjerenja

3.4.1. Instrumenti i priprema

Za određivanje boje zuba korišten je spektrofotometar Vita Easyshade V (5.0) (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) (Slika 10). Ovaj uređaj predstavlja jedan od najčešće korištenih i najvalidnijih spektrofotometara u dentalnoj medicini s dokazanom visokom pouzdanošću i ponovljivošću mjerenja (87,88). Spektrofotometar mjeri reflektiranu svjetlost u vidljivom spektru (400 – 700 nm) u intervalima od 10 nm te izračunava CIELAB koordinate boje (47).



Slika 10. Spektrofotometar VITA Easyshade V

Prije svakog mjerenja, spektrofotometar se kalibrirao prema uputama proizvođača koristeći kalibracijski standard bijele keramike koji je isporučen s uređajem (75). Kalibracija je provedena u istim uvjetima osvjetljenja kao i mjerenja na zubima, kako bi se osigurala točnost rezultata (114). Za svakog pacijenta postavljao se novi sterilni plastični štitnik na vrh mjernog nastavka, čime je osigurana higijena i prevencija unakrsne kontaminacije (Slika 11) (30).



Slika 11. Mjerenje na zubu spektrofotometrom

Mjerenje spektrofotometrom obavljao je jedan iskusni ispitivač koji je prethodno prošao trening za korištenje uređaja i standardizaciju tehnike mjerenja. Odabirao se program mjerenja na jednoj točki – određivanje osnovne nijanse (engl. *base shade determination*) na spektrofotometru te su se bilježile L^* , a^* i b^* vrijednosti za svako mjerenje na zubu u skladu s uputama proizvođača (Slika 12) (71).



Slika 12. Prikaz zaslona spektrofotometra na programu “Određivanje osnovne nijanse” za mjerenje na zubu

3.4.2. Postupak mjerenja

Na svakom zubu mjerenje se obavljalo tri puta te se određivala aritmetička sredina za svaku od tri koordinate boje (L^* , a^* , b^*), čime je na kraju dobiveno ukupno 648 pojedinačnih mjerenja ($72 \text{ ispitanika} \times 3 \text{ mjerenja} \times 3 \text{ koordinate}$) (78). Mjerenje na zubu provodilo se svaki put na istom mjestu, u srednjoj trećini labijalne plohe, što je standardna lokacija za mjerenje boje zuba koja najbolje predstavlja dominantnu boju zuba (52,76,115).

Zubi uključeni u istraživanje boje te mjereni spektrofotometrom bili su isključivo prirodni središnji gornji desni sjekutići koji nisu nikada tretirani postupcima izbjeljivanja zuba, zubi bez patoloških diskoloracija (fluoroza, tetraciklin diskoloracije, traumatske diskoloracije) te bez protetskih ili restorativnih zahvata (kompozitni ispuni, keramičke ljuskice, krunice) (55,56).

3.4.3. Priprema zuba prije mjerenja

Prije početka ispitivanja svakom ispitaniku je gornji središnji desni sjekutić očetkan četkicom na mikromotoru tijekom 30 sekundi (brzina 1500 okretaja u minuti) uz korištenje paste za poliranje Proxyl RDA (relativna dentinska abrazivnost, engl. *relative dentin abrasion*) 36 (Ivoclar Vivadent, Lihtenštajn) te potom ispiran i navlaživan vlažnom vaterolom tijekom 5 sekundi (79,81). Ovaj postupak čišćenja i poliranja standardiziran je kako bi se uklonile površinske naslage, plak i pigmentacije koje bi mogle utjecati na mjerenje boje (82).

Pasta za poliranje imala je nizak indeks abrazivnosti (RDA 36) odabrana je kako bi se osiguralo učinkovito čišćenje bez oštećenja površine cakline (80). Nakon poliranja, zubi su isprani destiliranom vodom i osušeni komprimiranim zrakom kako bi se uklonili svi ostaci paste. Neposredno prije mjerenja, površina zuba navlažena je vlažnom vaterolom kako bi se simulirali prirodni uvjeti hidratacije cakline, budući da dehidracija može značajno utjecati na mjerenje boje (83,90).

Vremenski interval između poliranja i mjerenja bio je standardiziran na 2 minute, što omogućava rehidraciju cakline i stabilizaciju boje (84). Ovaj protokol pripreme zuba temeljen je na preporukama iz literature i osigurava optimalne uvjete za pouzdano mjerenje boje (79,81).

3.5. Digitalna fotografija

3.5.1. Fotografska oprema i postavke

Dio istraživanja odnosio se na fotografiranje ispitanika u standardiziranim uvjetima te fotogrametrijska mjerenja na učinjenim fotografijama. Fotografiranje se obavljalo pod standardiziranim uvjetima osvjetljenja prema CIE standardu (Just Normlicht, Weilheim der Teck, Njemačka) uz jakost osvjetljenja 6500 K i 1000 lux te se fotografiralo područje glave, lica i vrata (26).

Ispitanici su fotografirani digitalnim fotoaparatom marke Canon EOS 5D Mark II, serijski broj 652305714 (Canon Inc., Tokyo, Japan) s jednom fiksnom reflektirajućom lećom s fokalnom udaljenošću od 50 mm, ISO-100 (Canon EF 50 mm f/1.8; Canon Inc., Tokyo, Japan) koja omogućuje odgovarajuće uvjete snimanja s obzirom na udaljenost predmeta od leće i oštrinu fotografije (26,102). Korištenje fiksne leće od 50 mm preporučuje se u dentalnoj fotografiji jer minimizira distorziju i pruža prirodnu perspektivu sličnu ljudskom oku (103).

Postavke fotoaparata bile su standardizirane za sve ispitanike: vrijeme ekspozicije 1/125 s, otvor blende f/11, ISO 100, balans bijele boje postavljen na 6500 K (27). Fotografije su snimane u RAW formatu. CR2 – naziv ekstenzije za Canon 2 fotoaparata (engl. *extension for Canon RAW 2*) koji omogućava maksimalnu fleksibilnost u naknadnoj obradi i korekciji boje bez gubitka kvalitete (31).

3.5.2. Pozicioniranje fotoaparata i ispitanika

Fotografiranje se provodilo pomoću fotoaparata na stativu marke Hama (STAR 63, Hama GmbH & Co KG, Monheim, Njemačka) namještenog na visinu od 130 cm te na udaljenosti od 150 cm od ispitanika koji je sjedio na stolcu s regulatorom visine. Visina glave ispitanika namještala se tako da se vrh glave poklapao s ucrtanom linijom na pozadini koja je bila paralelna s bipupilarnom linijom te paralelna s podom i poklapala se s visinom leće kamere kako bi bila definirana ravnina snimanja.

Na taj način objektiv kamere uvijek je imao isti prikaz glave i vrata ispitanika bez obzira na ispitanikovu visinu tijela te je na taj način osigurana pravilna horizontalna pozicija optičke osi leće.

Optička os kamere bila je orijentirana okomito na frontalnu ravninu ispitanika, čime je eliminirana perspektivna distorzija (26).

Pozadina je bila sive boje (Walimex Pro, 150 × 200 cm, Walimex Pro GmbH, Burgheim, Njemačka) te se koristila u svrhu sprječavanja refleksije svjetlosti prilikom fotografiranja i pružanja neutralne pozadine koja ne utječe na percepciju boje (102). Korišteni su stativ i daljinski okidač (Mecablitz 15 MS-1, Metz-Werke GmbH & Co KG, Zirndorf, Njemačka) za svaku fotografiju ne bi li se eliminirala vibracija kamere i osigurala oštra slika (103).

3.5.3. Kalibracija boje i standardizacija

Ispitanici su držali glavu u neutralnom položaju (NHP – engl. *natural head position*) prilikom fotografiranja te su držali u ruci *ColorChecker Passport* (X-Rite Inc., Grand Rapids, Michigan, SAD) 1 cm ispod svoje brade (31,116) (Slika 13). *ColorChecker Passport* služi za kalibriranje boje te također ima integriranu vertikalnu mjernu milimetarsku skalu kao i sivu karticu (engl. *grey card*) koja služi za precizno određivanje balansa bijele boje i pravilne ekspozicije. Siva kartica ima neutralnu sivu boju (18 % reflektancija) koja ne vuče ni na jednu boju te predstavlja standardnu referencu u fotografiji. Također ima integriranu karticu za balans bijele boje (engl. *white balance card*) koja je referentna neutralna kartica a služi pri fotografiranju da bi se točno podesio balans bijele boje prema stvarnom svjetlu u prostoriji. *ColorChecker Passport* sadrži 24 boje poznatih spektralnih karakteristika koje omogućavaju preciznu kalibraciju boje u postprocesiranju (31,116) (Slika 14).



Slika 13. Ispitanik prilikom fotografiranja uz ColorChecker Passport



Slika 14. ColorChecker Passport (X-Rite Inc., Grand Rapids, Michigan, SAD)

3.5.4. Protokol fotografiranja

Fotografirale su se tri fotografije istog ispitanika prema sljedećem protokolu:

Prva fotografija: zatvorenih usta, neutralnog izraza lica, bez bljeskalice – ova fotografija služila je za antropometrijska mjerenja i procjenu facijalnih proporcija (26).

Druga fotografija: s držačem usana C oblika, prethodno steriliziranim, bez bljeskalice – ova fotografija omogućavala je vizualizaciju zuba i okolnih struktura bez sjajnih refleksija koje stvara bljeskalica (102).

Treća fotografija: s držačem usana i s bljeskalicom (Mecablitz 15 MS-1) – ova fotografija korištena je za kolorimetrijsku analizu boje zuba budući da bljeskalica osigurava konzistentno i standardizirano osvjetljenje (103).

Ako je ispitanik imao naočale, trebalo ih je ukloniti prije fotografiranja. Ako je ispitanik imao kosu koja prekriva lice, trebalo ju je odmaknuti od lica pomoću trake za kosu ili ukosnica. Ispitanice koje su imale šminku trebale su je ukloniti prije fotografiranja kako ne bi došlo do lažnog rezultata u određivanju boje tena (101). Za uklanjanje šminke korištena su standardna sredstva za uklanjanje šminke i vlažne maramice.

3.6. Određivanje boje tena

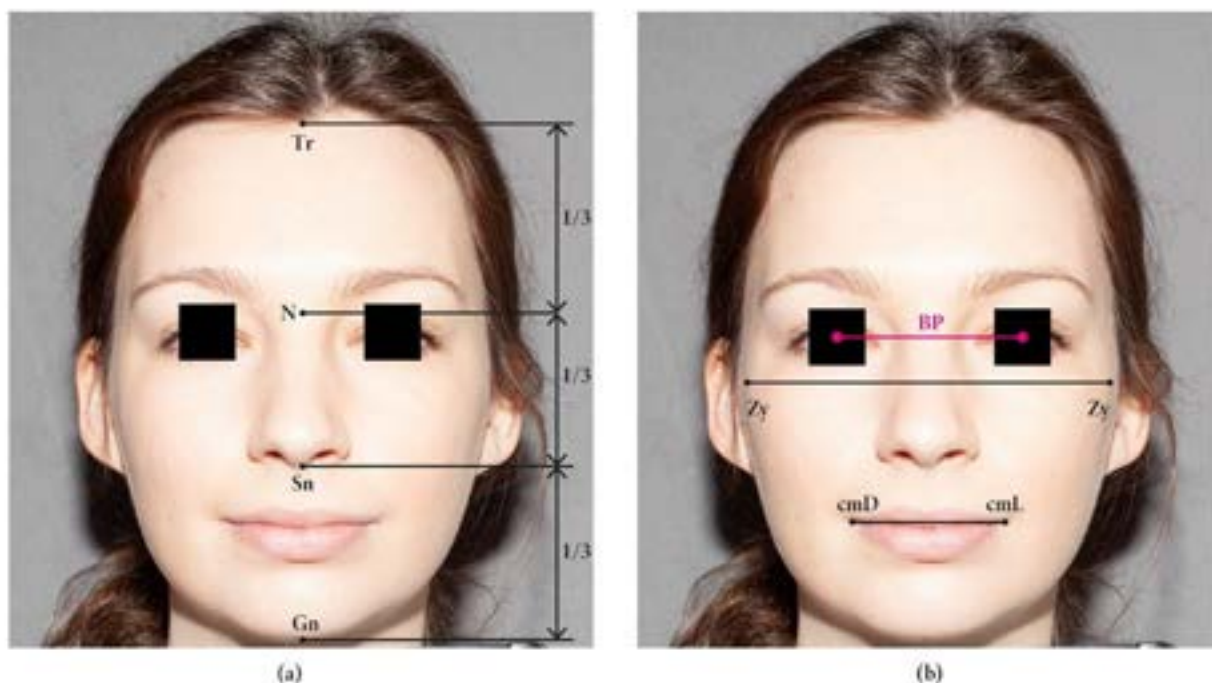
Boja tena svakog ispitanika određena je prema Fitzpatrickovoj skali (100,117,118). Korištena je skraćena verzija Fitzpatrickove skale prilagođena za europsku populaciju s tri kategorije: svijetli ten (tip I), srednji ten (tip II) te tamniji ten (tip III) (Tablica 1). Svaki ispitanik odgovarao je na standardizirana pitanja kojima su dodijeljeni bodovi, te se zbrojem istih došlo do svrstavanja u određeni tip kože (100,118). Fitzpatrickova klasifikacija kože izvorno je razvijena za procjenu reakcije kože na ultraljubičasto (UV) zračenje te se u kliničkim i znanstvenim istraživanjima često koristi kao standardizirani sustav za opis fototipa kože. Tipovi I–III najčešće se susreću u bijeloj populaciji europskog podrijetla i stoga su osobito relevantni u europskim antropometrijskim, estetskim i kliničkim studijama (118).

Tablica 1. Fitzpatrickova skala (117)

Fitzpatrickov fototip	Opis boje i karakteristika kože	Reakcija kože na UV zračenje
Tip I	Vrlo svijetla koža; često prisutne pjege; svijetle oči (plave ili zelene); plava ili crvena kosa	Koža uvijek izgori, nikada ne tamni
Tip II	Svijetla bijela koža; svijetle ili lješnjak oči; plava ili svijetlosmeđa kosa	Koža lako izgori, tamni minimalno i sporo
Tip III	Tamnija bijela ili kremasta koža; smeđa, tamnosmeđa kosa i oči	Koža ponekad izgori, postupno i umjereno tamni

3.7. Fotogrametrijska mjerenja

Na učinjenim fotografijama provedena su fotogrametrijska mjerenja istih parametara kao i *in vivo* antropometrijska mjerenja na ispitaniku kako bi se utvrdila vjerodostojnost mjerenja *in vivo* te uspostavile korelacije i odstupanja u mjerenjima na fotografijama (17,26). Dodana su mjerenja udaljenost između komisura usana (cmD – cmL) te bipupilarna udaljenost kako bi se izjednačio broj vertikalnih i horizontalnih mjerenja na licu. Tri vertikalna mjerenja odnose se na mjere trichion – nasion, nasion – subnasale te subnasale – gnathion, dok su horizontalna mjerenja zygion – zygion, lijeva i desna komisura usana te bipupilarna udaljenost (Slika 15). Mjerenja su provedena softverom Adobe Photoshop CC 2019 (Adobe Systems Inc., San Jose, California, SAD) koristeći alat za mjerenje udaljenosti.



Slika 15. Ekstraoralne mjere na fotografijama: a) vertikalne mjere: Tri – N (trichion – nasion), N- Sn (nasion – subnasale), Sn – Gn (subnasale – gnathion), b) horizontalne mjere: bipupilarna linija, Zy – Zy (zygion – zygion), cmD – cmL (desna i lijeva komisura usana)

Cilj je bio utvrditi pouzdanost mjerenja na standardiziranim digitalnim fotografijama kao mediju s kojim lakše manipuliramo i koji nam omogućuje jednostavniji prijenos podataka koji su nam važni kod određivanja estetskih parametara presudnih u estetici lica i osmijeha (26,102). Fotogrametrijska mjerenja provodio je isti ispitivač koji je provodio i *in vivo* mjerenja, kako bi se osigurala konzistentnost u identifikaciji anatomskih točaka.

Prije mjerenja, svaka fotografija je kalibrirana koristeći milimetarsku skalu na ColorChecker Passport kartici, što je omogućilo pretvaranje piksela u stvarne milimetarske vrijednosti (31). Svako mjerenje na fotografiji provedeno je tri puta te je izračunata aritmetička sredina, analogno protokolu *in vivo* mjerenja (26).

3.8. Digitalna kolorimetrijska analiza

3.8.1. Rekalibracija boje zuba

Posljednji dio istraživanja bio je digitalna rekalibracija boje zuba koristeći Adobe Lightroom Classic CC 2019 softver (Adobe Systems Inc., San Jose, California, SAD) i odgovarajući X-Rite ColorChecker Passport Lightroom plugin (X-Rite Inc., Grand Rapids, Michigan, SAD). Tijekom ovog procesa učinjen je poseban profil boje za svakog ispitanika u Lightroom programu i učinjena je automatska korekcija i kalibracija boje fotografije koristeći Classic target color profil iz fotografije (31).

Mjerenja su provedena koristeći alat okruglog oblika (engl. *Color Picker*) veličine 100 piksela, što omogućava prosječno mjerenje boje na definiranom području i smanjuje utjecaj lokalnih varijacija (31). Za mjerenje su korištene fotografije ispitanika učinjene s usnim retraktorom i s bljeskalicom, budući da ove fotografije pružaju najkonzistentnije i najstandardiziranije uvjete osvjetljenja (103).

Boja zuba rekalibrirana je u odnosu na boju zuba izmjerenu spektrofotometrom *in vivo* na ispitaniku. Rekalibracija se učinila korekcijom L^* , a^* i b^* vrijednosti CIE standarda mjerenih spektrofotometrom na gornjem desnom središnjem sjekutiću (106). Na svakoj fotografiji za svakog pojedinog ispitanika prvo se izmjerila boja zuba, središnjeg desnog sjekutića, na sredini srednje trećine labijalne plohe tog zuba, pritiskom pokazivača miša. Postavke na softveru bile su podešene prije svakog mjerenja kako bi se potvrdila rekalibracija L^* , a^* i b^* vrijednosti (31).

3.8.2. Mjerenje boje bjeloočnice

Potom se izvršilo mjerenje boje bjeloočnice na lateralnom rubu ocnog kuta (lateralni kantus), na fotografijama ispitanika s bljeskalicom. Odabir ove lokacije temeljen je na činjenici da lateralni kantus pruža konzistentno i standardizirano mjesto za mjerenje boje bjeloočnice bez utjecaja sjene ili refleksije. Zabilježene su L^* , a^* i b^* vrijednosti izmjerene boje bjeloočnice za svakog ispitanika.

3.8.3. Mjerenje boje tena

Naposljetku je izvršeno mjerenje boje tena ispitanika na istim fotografijama. Boja tena mjerena je odabirom središnje točke Glabella (najistaknutija točka između obrva u sagitalnoj ravnini) pokazivačem miša, budući ta točka pokazuje konzistentnost boje tena u odnosu na druge točke na

licu i najmanje je podložna sezonskim varijacijama i utjecaju kozmetičkih proizvoda (101). Također su određene L^* , a^* i b^* vrijednosti za izmjerene boje tena svakog ispitanika.

Sva kolorimetrijska mjerenja provodio je isti ispitivač u istim uvjetima osvjetljenja i na istom kalibiranom monitoru (Dell UltraSharp U2719D, Dell Inc., Round Rock, Texas, SAD) kako bi se osigurala konzistentnost rezultata. Monitor je bio kalibriran pomoću X-Rite i1Display Pro kolorimetra (X-Rite Inc., Grand Rapids, Michigan, SAD) prema standardu s RGB prije početka mjerenja.

3.9. Statistička analiza

Svi prikupljeni podaci uneseni su u Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, SAD) te su analizirani pomoću statističkog softvera SPSS verzija 26.0 (IBM Corporation, Armonk, New York, SAD). Deskriptivna statistika korištena je za prikaz osnovnih karakteristika uzorka, uključujući aritmetičku sredinu, standardnu devijaciju, medijan, interkvartilni raspon, minimalne i maksimalne vrijednosti za sve kontinuirane varijable. Normalnost distribucije podataka testirana je Shapiro-Wilkovljevim testom. Za usporedbu razlika između grupa korišteni su t-test za nezavisne uzorke (za usporedbu između spolova) i jednosmjerna analiza varijance (ANOVA) s post-hoc Tukey testom (za usporedbu između više grupa). Za usporedbu antropometrijskih i fotogrametrijskih mjerenja korišten je Wilcoxonov test za zavisne uzorke. Korelacije između varijabli analizirane su Pearsonovim koeficijentom korelacije za normalno distribuirane podatke i Spearmanovim koeficijentom korelacije ukoliko podaci nisu bili normalno distribuirani. Pouzdanost mjerenja procijenjena je izračunavanjem intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC) za tri uzastopna mjerenja svakog parametra. Slaganje između *in vivo* i fotogrametrijskih mjerenja analizirano je Bland-Altman metodom. Jednostavna linearna regresijska analiza korištena je za ispitivanje prediktivne moći pojedinačnih varijabli, dok je multivarijatna regresijska analiza primijenjena za razvoj kompleksnih prediktivnih modela boje zuba. Koeficijent determinacije (R^2) korišten je za procjenu proporcije objašnjene varijance. Za analizu performansi umjetne neuronske mreže korištena je prosječna apsolutna pogreška (MAE) i relativna pogreška. Razina statističke značajnosti postavljena je na $p < 0,05$ za sve analize. Grafički prikazi uključuju dijagrame raspršenja s regresijskim pravcima, box-plot dijagrame i dijagrame relativnih razlika između metoda.

4. REZULTATI

Ovo poglavlje prikazuje rezultate istraživanja provedenog na uzorku od 72 ispitanika koji su zadovoljili kriterije sudjelovanja u istom, s ciljem usporedbe antropometrijske i fotogrametrijske metode mjerenja facijalnih i dentalnih dimenzija koje determiniraju oblik zuba te analize odnosa između boje zuba, boje tena i boje bjeloočnice.

Poglavlje je koncipirano u dva dijela. Prvi dio obuhvaća rezultate mjerenja dimenzija i proporcija zuba i lica, pokušaj predikcije dentalnih proporcija iz facijalnih dimenzija te usporedbu antropometrijske i fotogrametrijske metode. Drugi dio čine rezultati kolorimetrijske analize odnosa između boje zuba, boje tena i boje bjeloočnice. Na samom početku prije prvog dijela prikazani su demografski podaci ispitanika i raspodjela okluzijskih klasa po Angleu (Tablica 2).

Linearna regresijska analiza provedena je na eksploratornoj razini s ciljem ispitivanja potencijalne povezanosti između facijalnih dimenzija i dentalnih parametara. Kao ishodna varijabla odabran je omjer širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (11 WLR) jer je estetski relevantan, determinira oblik zuba i može predstavljati konačni produkt koji se može pokušati predvidjeti iz pojedinačnih dimenzija lica. Važno je napomenuti da omjer predstavlja funkciju dviju varijabli, dok su prediktori izvorne varijable, što je uzeto u obzir pri interpretaciji rezultata.

Linearna regresijska analiza za omjer širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (11 WLR) s dimenzijama lica kao prediktorima nije dala značajan rezultat. Regresija nije bila statistički značajna ni za antropometrijske podatke ($p=0,876$), niti za fotogrametrijske podatke ($p=0,519$).

Dodatno su provedene linearne regresijske analize u kojima su kao zavisne varijable odabrane izvorne dimenzije (dužina i širina) sjekutića umjesto njihovog omjera. Linearna regresijska analiza za širinu i dužinu gornjeg središnjeg sjekutića s antropometrijski izmjerenim dimenzijama lica kao prediktorima nije dala značajan rezultat. Međutim, u linearnoj regresijskoj analizi fotogrametrijskih podataka, dimenzije $N - S_n$ i $S_n - G_n$ istaknule su se kao statistički značajni prediktori dužine gornjeg središnjeg sjekutića ($p=0,043$ i $p=0,007$), dok su dimenzije $S_n - G_n$ i bipupilarna udaljenost bile značajni prediktori širine gornjeg središnjeg sjekutića ($p=0,025$ i $p=0,017$).

Najznačajniji rezultati istraživanja odnose se na iznimno jake korelacije između boje zuba i okolnih facijalnih struktura. Kolorimetrijska analiza u CIELAB sustavu otkrila je da parametar svjetline

(L^*) zuba snažno korelira s parametrom L^* tena i još jače s parametrom L^* bjeloočnice, pri čemu je boja bjeloočnice pokazala najveću prediktivnu moć za boju zuba.

Tablica 2. Demografski podaci o ispitanicima te težina, visina i raspodjela ispitanika prema Angle-klasama.

Varijabla	Svi ispitanici (n=72)
Dob (godine) / srednja vrijednost (s. d.)	22,9 (0,92)
Spol / n (%)	
Muški	18 (25 %)
Ženski	54 (75 %)
Težina (kg) / srednja vrijednost (s. d.)	65,94 (11,49)
Visina (cm) / srednja vrijednost (s. d.)	172,82 (8,51)
Klasa prema Angleu / n (%)	
1	66 (91,7 %)
2	3 (4,2 %)
3	3 (4,2 %)

4.1. Rezultati mjerenja dimenzija i proporcija zuba/lica

Raspodjela podataka prema percentilama za dimenzije lica dobivene antropometrijom i fotogrametrijom prikazana je u Tablici 3.

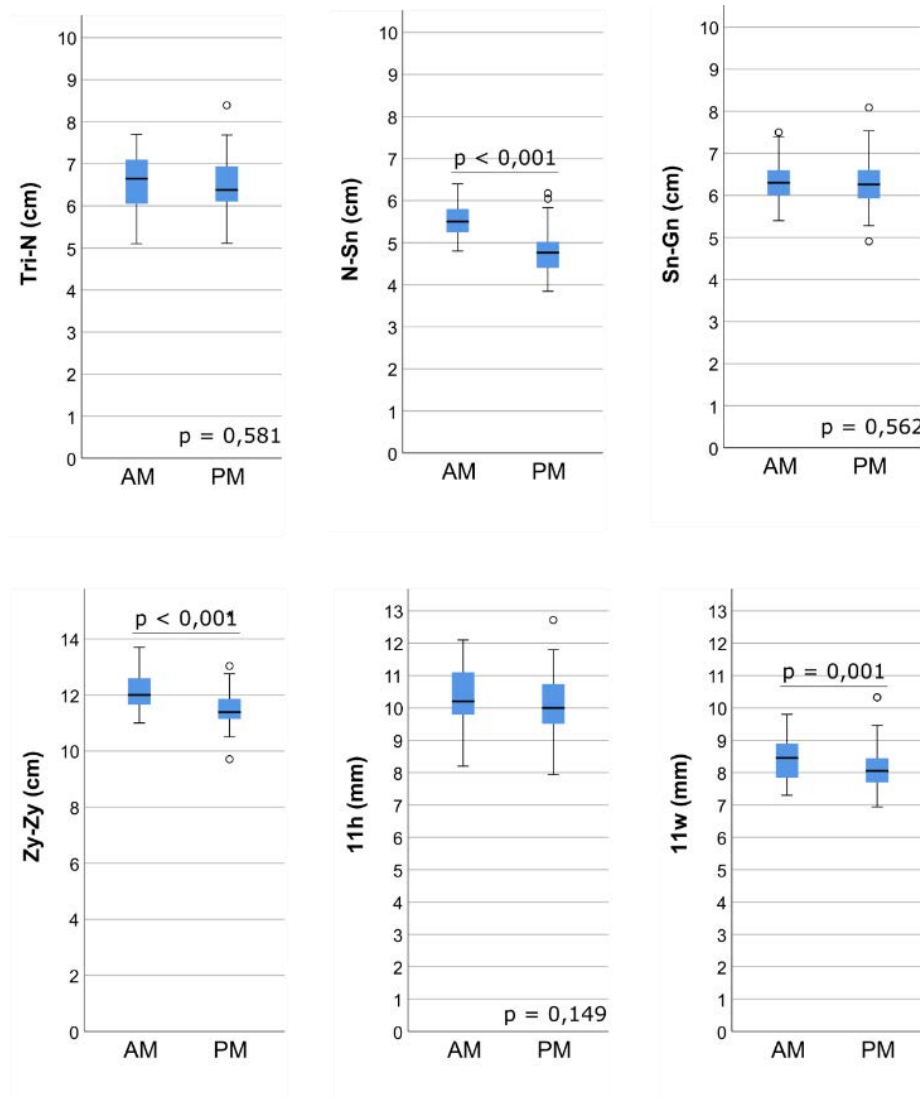
Tablica 3. Raspodjela dimenzija lica i zuba prema percentilama.

Dimenzija	Percentile						
	5	10	25	50	75	90	95
AM Tri – N (cm)	5,27	5,46	6,03	6,65	7,10	7,40	7,44
PM Tri – N (cm)	5,66	5,84	6,11	6,38	6,96	7,24	7,56
AM N – Sn (cm)	4,90	5,00	5,23	5,50	5,80	6,10	6,24
PM N – Sn (cm)	4,03	4,16	4,40	4,76	5,02	5,25	5,62
AM Sn – Gn (cm)	5,67	5,80	6,00	6,30	6,60	6,97	7,20
PM Sn – Gn (cm)	5,35	5,52	5,92	6,26	6,60	7,03	7,30
AM Zy – Zy (cm)	11,10	11,26	11,63	12,00	12,60	13,10	13,24
PM Zy – Zy (cm)	10,51	10,69	11,14	11,39	11,87	12,42	12,75
AM 11h (mm)	9,00	9,13	9,80	10,20	11,10	11,54	11,94
PM 11h (mm)	8,73	9,03	9,50	10,00	10,76	11,40	11,62
AM 11w (mm)	7,50	7,70	7,83	8,45	8,90	9,10	9,37
PM 11w (mm)	7,06	7,42	7,69	8,05	8,45	8,59	9,06
PM cmD – cmL (cm)	4,24	4,33	4,54	4,75	5,11	5,31	5,59
PM bipupilarno (cm)	4,99	5,26	5,55	5,84	6,04	6,23	6,52

AM: podaci dobiveni antropometrijom, PM: podaci dobiveni fotogrametrijom, Tri – N: udaljenost trichion – nasion, N – Sn: udaljenost nasion – subnasale, Sn – Gn: udaljenost subnasale gnathion, 11h: dužina gornjeg desnog središnjeg sjekutića, 11w: širina gornjeg desnog središnjeg sjekutića, cmD – cmL: udaljenost između lijeve i desne komisure usana, bipupilarno: bipupilarna udaljenost.

4.1.1. Usporedba vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom

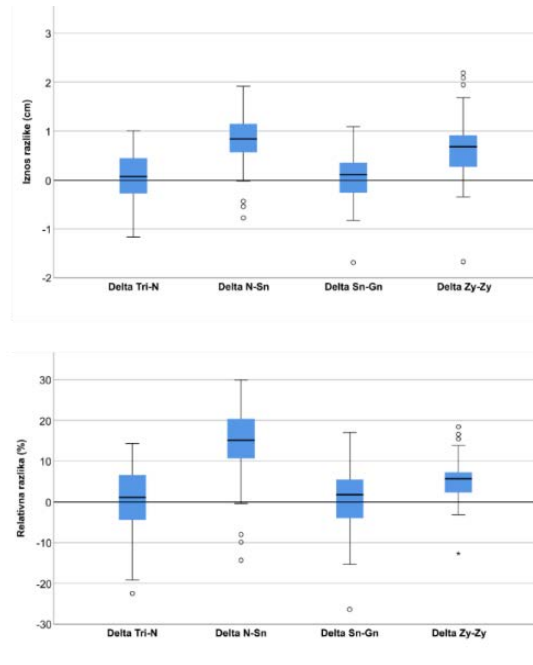
Usporedbama vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom prikazanim na Slici 16 ustanovljeno je da antropometrija rezultira statistički značajno većim vrijednostima za udaljenosti N – Sn, Zy – Zy i 11w. Za ostale udaljenosti, podaci dobiveni antropometrijom i fotogrametrijom nisu se statistički značajno razlikovali.



Slika 16. Usporedba udaljenosti izmjerenih antropometrijom i fotogrametrijom. Statistički značajne razlike označene su vodoravnom crtom iznad stupaca. AM: podaci dobiveni antropometrijom, PM: podaci dobiveni fotogrametrijom.

4.1.2. Delta varijable-razlika antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za dimenzije lica

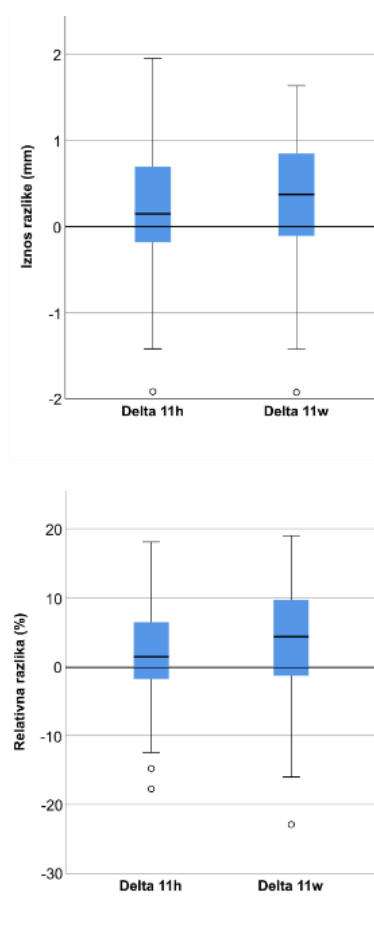
Na Slici 17 dan je vizualni prikaz delta varijabli, koje su definirane kao razlika antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka. Odmak delta varijabli u pozitivnom smjeru y-osi pokazuje da antropometrija općenito rezultira većim vrijednostima u odnosu na fotogrametriju, odnosno da fotogrametrija podcjenjuje stvarne dimenzije. Razlike su najviše izražene za udaljenosti N – Sn i Zy – Zy, gdje je antropometrija pokazala u prosjeku oko 15 %, odnosno 7 % veće vrijednosti nego fotogrametrija. Za udaljenosti Tri – N i Sn – Gn, prosječna odstupanja bila su znatno manja (do 3 % u korist antropometrije), međutim širina *boxplotova* za te udaljenosti pokazuje da postoje istaknute varijabilnosti među ispitanicima, tj. unatoč malim prosječnim razlikama na razini cijelog uzorka ispitanika, u pojedinim slučajevima se rezultati antropometrije i fotogrametrije razlikuju u rasponu od -20% do +18% (interkvartilni rasponi za mjere Tri – N i Sn – Gn). Ovakvi rezultati pokazuju da fotogrametrija kod nekih ispitanika precjenjuje, dok kod drugih podcjenjuje stvarne vrijednosti.



Slika 17. Razlike antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za dimenzije lica. Gornji panel prikazuje apsolutne razlike u centimetrima, a donji panel relativne razlike definirane kao postotak odgovarajuće dimenzije izmjerene antropometrijom.

4.1.3. Delta varijable-razlika antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za dimenzije gornjeg desnog središnjeg sjekutića

Analogno s usporedbom udaljenosti izmjerenih na licu, Slika 18 prikazuje delta varijable za dimenzije gornjeg desnog središnjeg sjekutića. I na ovom prikazu, odmak delta varijabli u pozitivnom smjeru pokazuje da su vrijednosti dobivene antropometrijom veće, odnosno da fotogrametrija u prosjeku podcjenjuje stvarne dimenzije. Međutim, široki interkvartilni rasponi pokazuju da fotogrametrija kod određenih ispitanika podcjenjuje stvarne dimenzije (do -16%), dok u ih drugim slučajevima precjenjuje (do +19%).

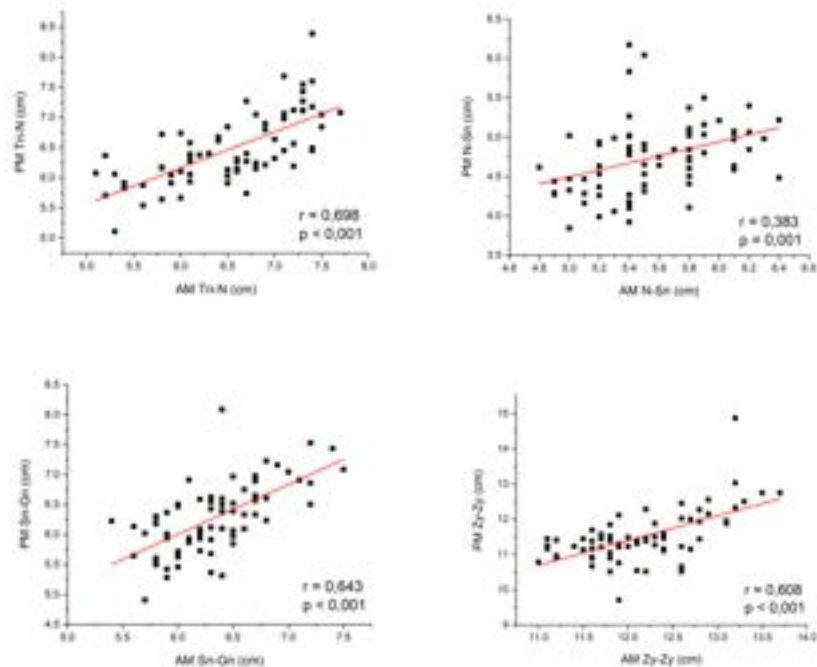


Slika 18. Razlike antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za dimenzije gornjeg desnog središnjeg sjekutića. Gornji panel prikazuje apsolutne razlike u milimetrima, a donji panel relativne razlike definirane kao postotak odgovarajuće udaljenosti izmjerene antropometrijom.

4.1.4. Korelacije između vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom

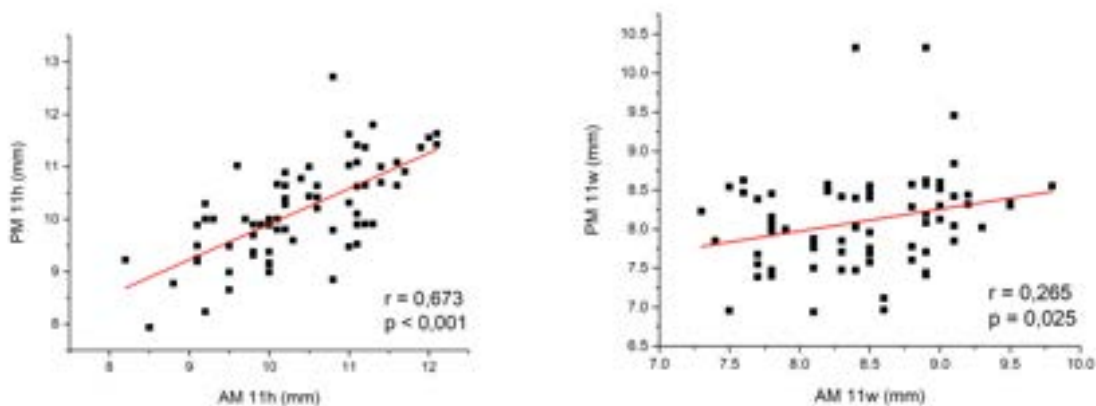
Za sve dimenzije lica, opažene su statistički značajne korelacije između vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom (Slika 19). Pearsonovi koeficijenti korelacije bili su veći od 0,6, za sve dimenzije lica, osim za udaljenost N – Sn kod koje je opažena nešto slabija korelacija ($R = 0,383$). Visoka korelacija antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka opažena je i za dužinu gornjeg središnjeg sjekutića ($R = 0,673$), dok je za širinu istog zuba korelacija bila slabija ($R = 0,265$, Slika 20).

3.3.2.2. Korelacije između vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom koje se odnose na dimenzije lica



Slika 19. Dijagrami raspršenja za antropometrijske i fotogrametrijske podatke dimenzija lica uz pripadajuće rezultate korelacijske analize prema Pearsonu. AM: podaci dobiveni antropometrijom, PM: podaci dobiveni fotogrametrijom, Tri – N: udaljenost trichion – nasion; N – Sn: udaljenost nasion – subnasale; Sn – Gn: udaljenost subnasale – gnathion, Zy – Zy: udaljenost zygion – zygion. r: Pearsonov korelacijski koeficijent, p: p-vrijednost korelacijske analize. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika.

3.3.2.3. Korelacije između vrijednosti dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom koje se odnose na dimenzije gornjeg desnog središnjeg sjekutića



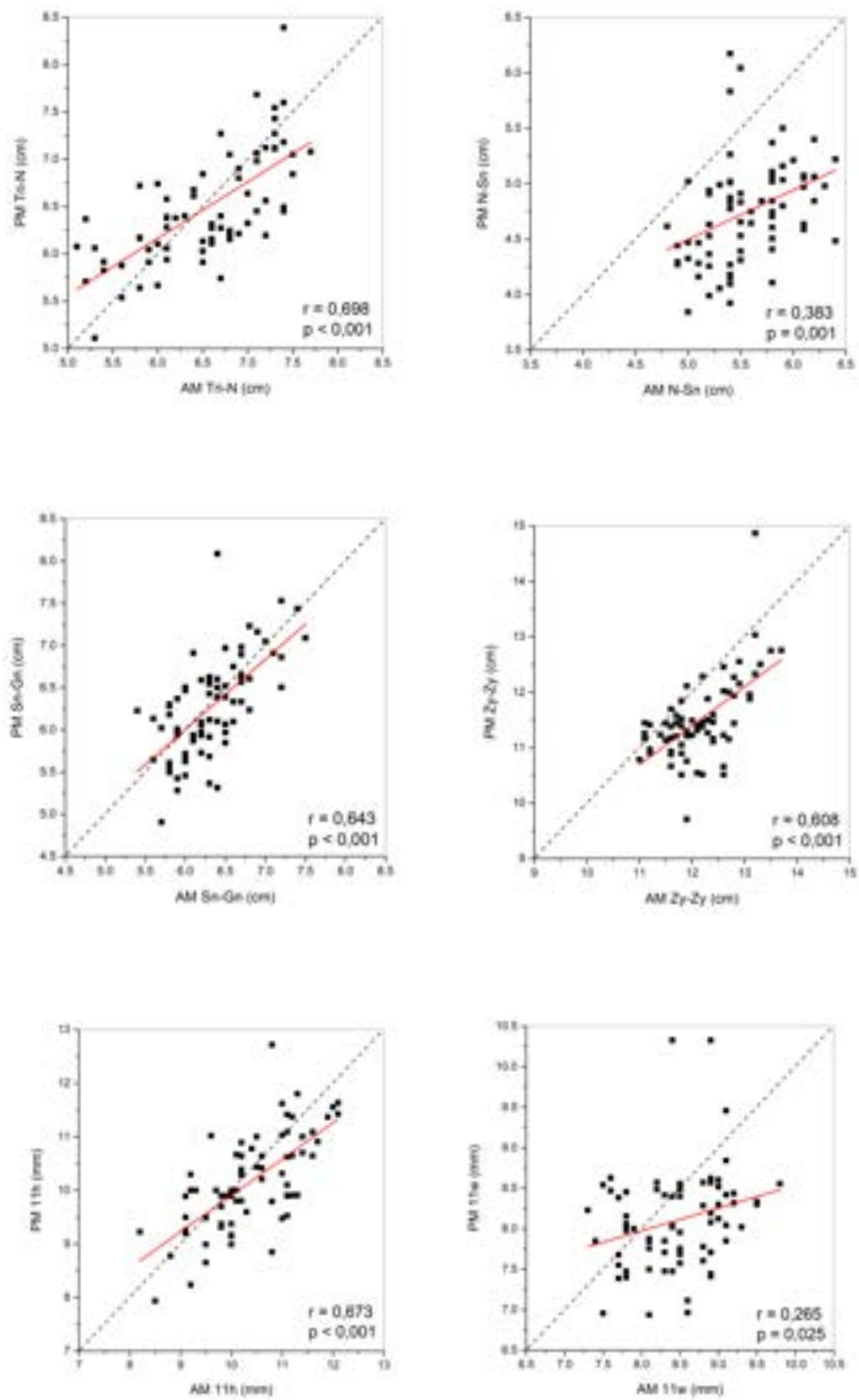
Slika 20. Dijagrami raspršenja za antropometrijske i fotogrametrijske podatke dimenzija gornjeg desnog središnjeg sjekutića uz pripadajuće rezultate korelacijske analize prema Pearsonu. AM: podaci dobiveni antropometrijom, PM: podaci dobiveni fotogrametrijom, 11h: dužina gornjeg desnog središnjeg sjekutića, 11w: širina gornjeg desnog središnjeg sjekutića, r: Pearsonov korelacijski koeficijent, p: p-vrijednost korelacijske analize. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika.

3.3.2.4. Korelacijski pravci za antropometrijske (AM) i fotogrametrijske (PM) podatke

Dijagrami raspršenja i pravci korelacije između antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka prikazani zajedno s funkcijom $y=x$, uz identične intervale na obje osi na Slici 21. Takav prikaz omogućava vizualnu usporedbu odstupanja mjera dobivenih fotogrametrijom, odnosno antropometrijom. Pravac $y=x$ predstavlja idealnu situaciju u kojoj su mjere dobivene dvjema metodama identične.

Najsličnije toj idealiziranoj situaciji ponaša se dimenzija $S_n - G_n$ kod koje korelacijska linija antropometrijskih i fotogrametrijskih vrijednosti leži gotovo na pravcu $y=x$. Najveća odstupanja od idealizirane situacije opažene su za dimenzije $N - S_n$ i $Z_y - Z_x$, kod kojih se velika većina točaka nalazi ispod pravca $y=x$. Takva pozicija točaka znači da su vrijednosti dobivene antropometrijom konzistentno bile veće od vrijednosti dobivenih fotogrametrijom. Za druge dimenzije, primjerice $Tri - N$, dio točaka se nalazi ispod, a dio iznad pravca $y=x$, pri čemu korelacijski pravac u određenoj točki presijeca pravac $y=x$. Do te točke sjecišta, crveni korelacijski pravac se nalazi iznad funkcije $y=x$, što znači da u tom području fotogrametrija daje veće vrijednosti antropometrije.

U suprotnom, nakon sjecišta, korelacijski pravac prelazi ispod funkcije $y=x$ što upućuje na to da antropometrija daje veće vrijednosti od fotogrametrije. Ovakav nalaz ukazuje da fotogrametrijska mjerenja precjenjuju stvarne vrijednosti u jednom dijelu mjernog raspona (do sjecišta s korelacijskog pravca s funkcijom $y=x$), odnosno podcjenjivanje u drugom dijelu mjernog raspona (nakon sjecišta). Uz dimenziju $Tri-N$, ovakav se obrazac opaža i za dimenzije gornjeg središnjeg sjekutića.



Slika 21. Korelacijski pravci za antropometrijske (AM) i fotogrametrijske (PM) podatke prikazani crvenim linijama i funkcija $y=x$ prikazana isprekidanom crnom linijom. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika.

4.1.5. Rezultati za omjere širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica

4.1.5.1. Raspodjele prema percentilama za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica

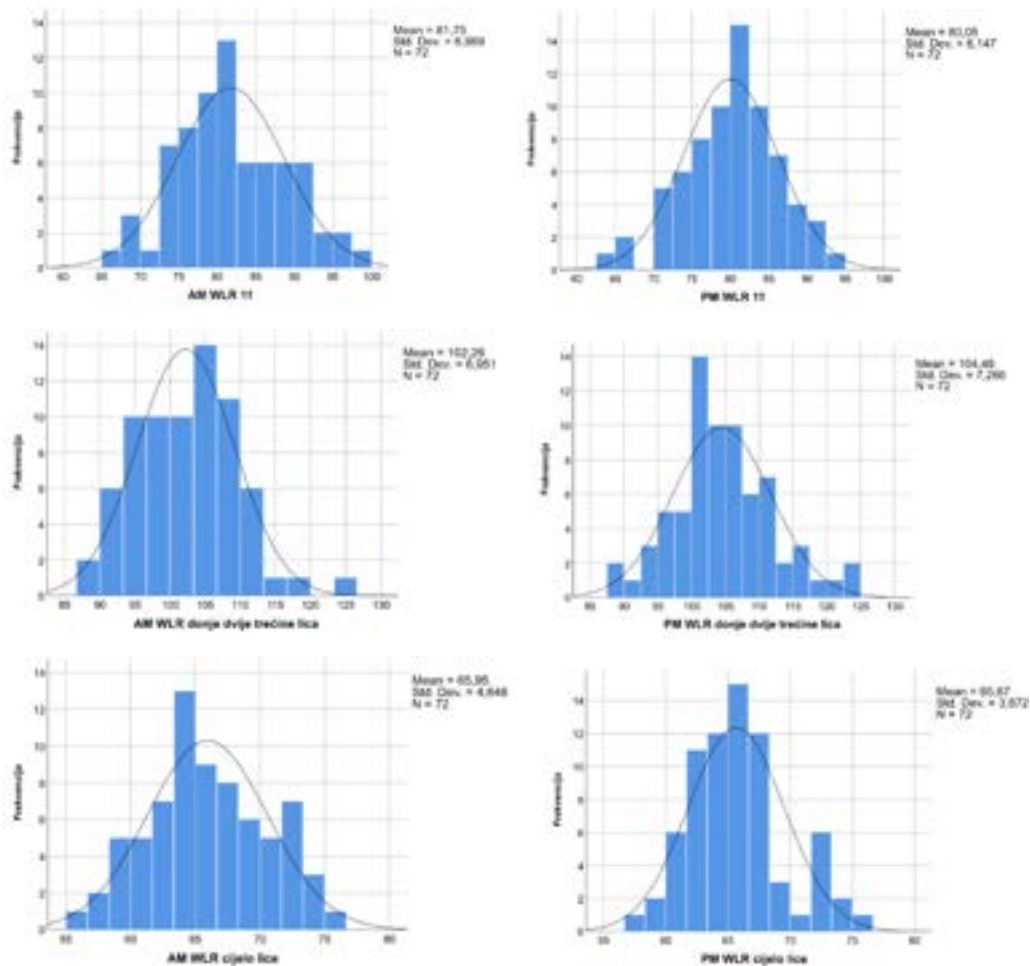
U Tablici 4 prikazane su raspodjele prema percentilama za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica, odnosno za omjere širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica. Prikazani su podaci dobiveni antropometrijskim i fotogrametrijskim mjerenjima. Raspodjele istih podataka prikazane su grafički pomoću histograma na Slici 22 za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica, odnosno na Slici 23 za omjere širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica.

Tablica 4. Raspodjele prema percentilama za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica

Dimenzija	Percentile						
	5	10	25	50	75	90	95
AM WLR 11 (%)	69,10	73,80	76,92	81,61	86,91	90,98	94,19
PM WLR 11 (%)	69,49	71,98	75,32	80,57	84,69	87,62	90,17
AM WLR cijelo lice (%)	58,50	59,64	62,60	65,20	69,15	72,77	73,91
PM WLR cijelo lice (%)	59,73	61,17	63,03	65,44	67,56	72,10	73,57
AM WLR donje dvije trećine lica (%)	91,03	93,18	96,09	102,59	107,19	110,33	112,43
PM WLR donje dvije trećine lica (%)	92,54	95,14	100,04	103,45	108,95	114,56	118,68
AM 11h / cijelo lice (%)	4,83	4,91	5,24	5,57	6,01	6,38	6,84
PM 11h / cijelo lice (%)	4,94	5,26	5,52	5,79	6,10	6,47	6,75
AM 11h / donje dvije trećine lica (%)	7,56	7,72	8,07	8,74	9,25	9,89	10,46
PM 11h / donje dvije trećine lica (%)	8,06	8,42	8,75	9,08	9,70	10,41	10,63
AM 11w / širina lica (%)	6,16	6,34	6,62	6,94	7,35	7,79	7,85
PM 11w / širina lica (%)	6,00	6,37	6,68	7,02	7,52	7,69	8,09
PM 11w / cmD – cmL (%)	14,48	15,14	15,99	16,89	17,84	18,47	18,85
PM 11w / bipupilarno (%)	12,62	12,96	13,23	13,91	14,52	15,13	15,85

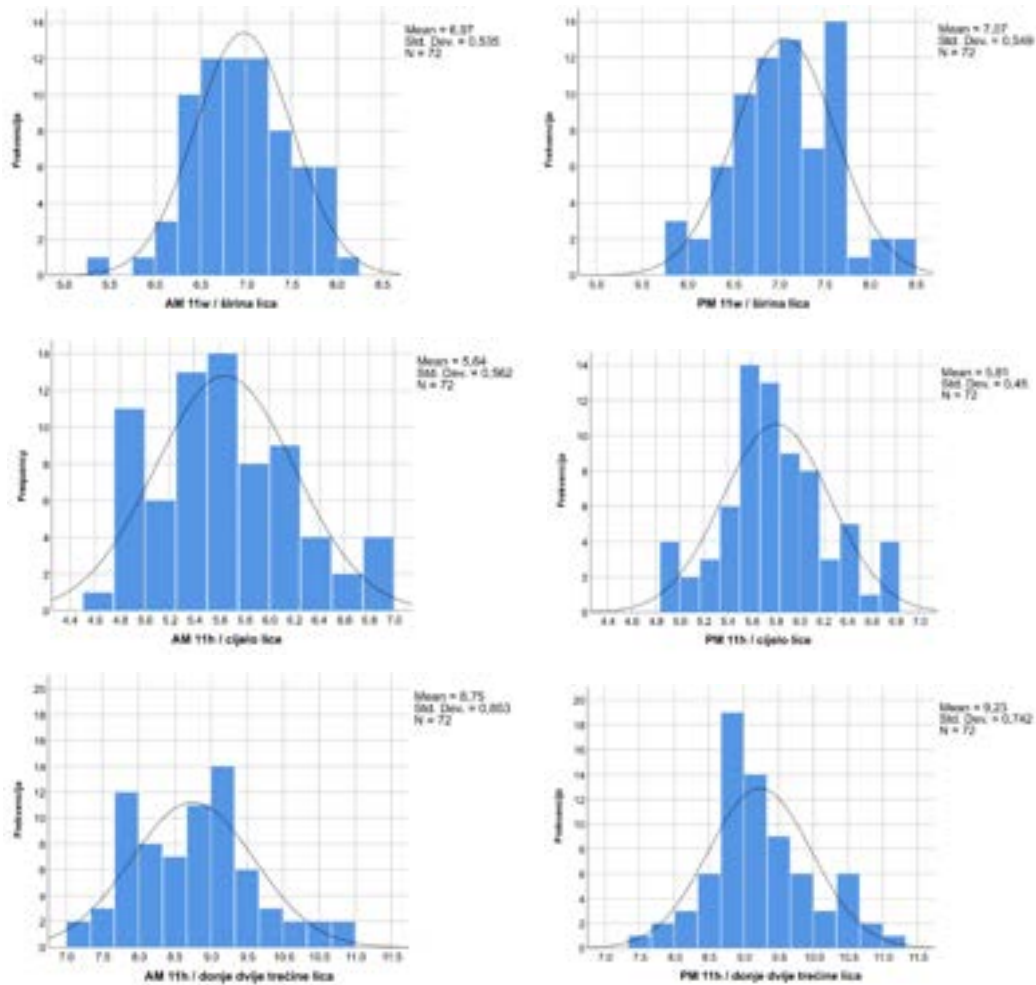
AM: podaci dobiveni antropometrijom, PM: podaci dobiveni fotogrametrijom, WLR 11: omjer širine i dužine gornjeg desnog središnjeg sjekutića, WLR cijelo lice: omjer $(Zy - Zy) / (Tri - Gn)$, WLR donje dvije trećine lica: omjer $(Zy - Zy) / (N - Gn)$, 11h / cijelo lice: omjer duljine zuba 11 / $(Tri - Gn)$, 11h / donje dvije trećine lica: omjer dužine zuba 11 / $(N - Gn)$, 11w / širina lica: omjer širine zuba 11 / $(Zy - Zy)$, 11w / cmD – cmL: omjer širine zuba 11 / udaljenost između komisura, 11w / bipupilarno: omjer širine zuba 11 / bipupilarna udaljenost.

4.1.5.2. Histogrami za raspodjele omjera širine i dužine (WLR) zuba i lica



Slika 22. Histogrami za raspodjele omjera širine i dužine (WLR) zuba i lica. Visine stupaca predstavljaju učestalost pojavljivanja pojedinih vrijednosti u ispitivanom uzorku, a crna linija aproksimira normalnu distribuciju u skladu s izmjerenim podacima. Histogrami s lijeve strane odnose se na vrijednosti dobivene antropometrijom (AM), a s desne strane su prikazane vrijednosti izmjerene fotogrametrijom (PM).

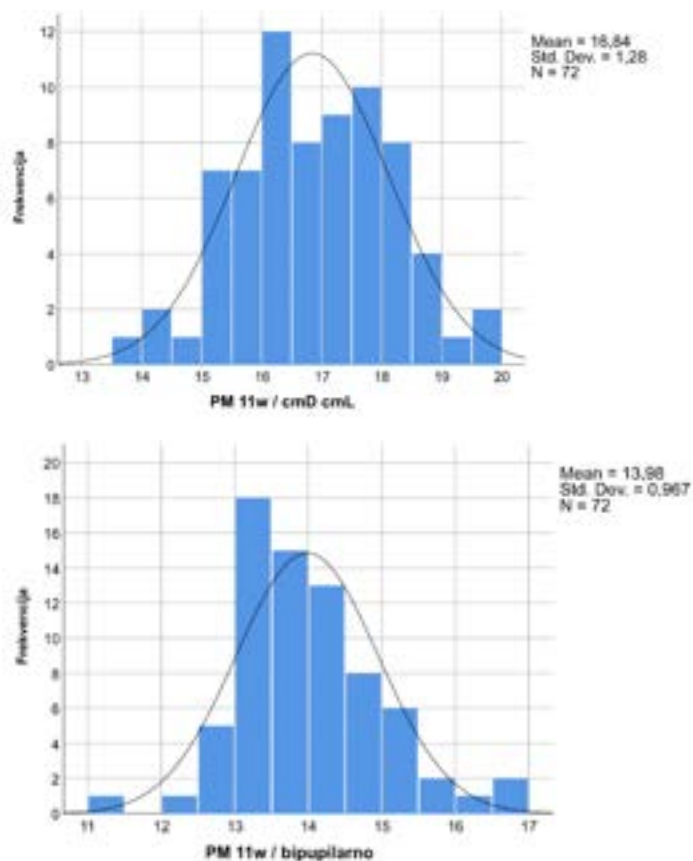
4.1.5.3. Histogrami za raspodjele omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica



Slika 23. Histogrami za raspodjele omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica. Visine stupaca predstavljaju učestalost pojavljivanja pojedinih vrijednosti u ispitivanom uzorku, a crna linija aproksimira normalnu distribuciju u skladu s izmjerenim podacima. Histogrami s lijeve strane odnose se na vrijednosti dobivene antropometrijom (AM), a s desne strane su prikazane vrijednosti izmjerene fotogrametrijom (PM).

4.1.5.4. Histogrami omjera širine zuba 11 i udaljenosti između komisura te omjera širine zuba 11 i bipupilarne udaljenosti

Histogrami omjera širine zuba 11 i udaljenosti između komisura te omjera širine zuba 11 i bipupilarne udaljenosti prikazani su na Slici 24.

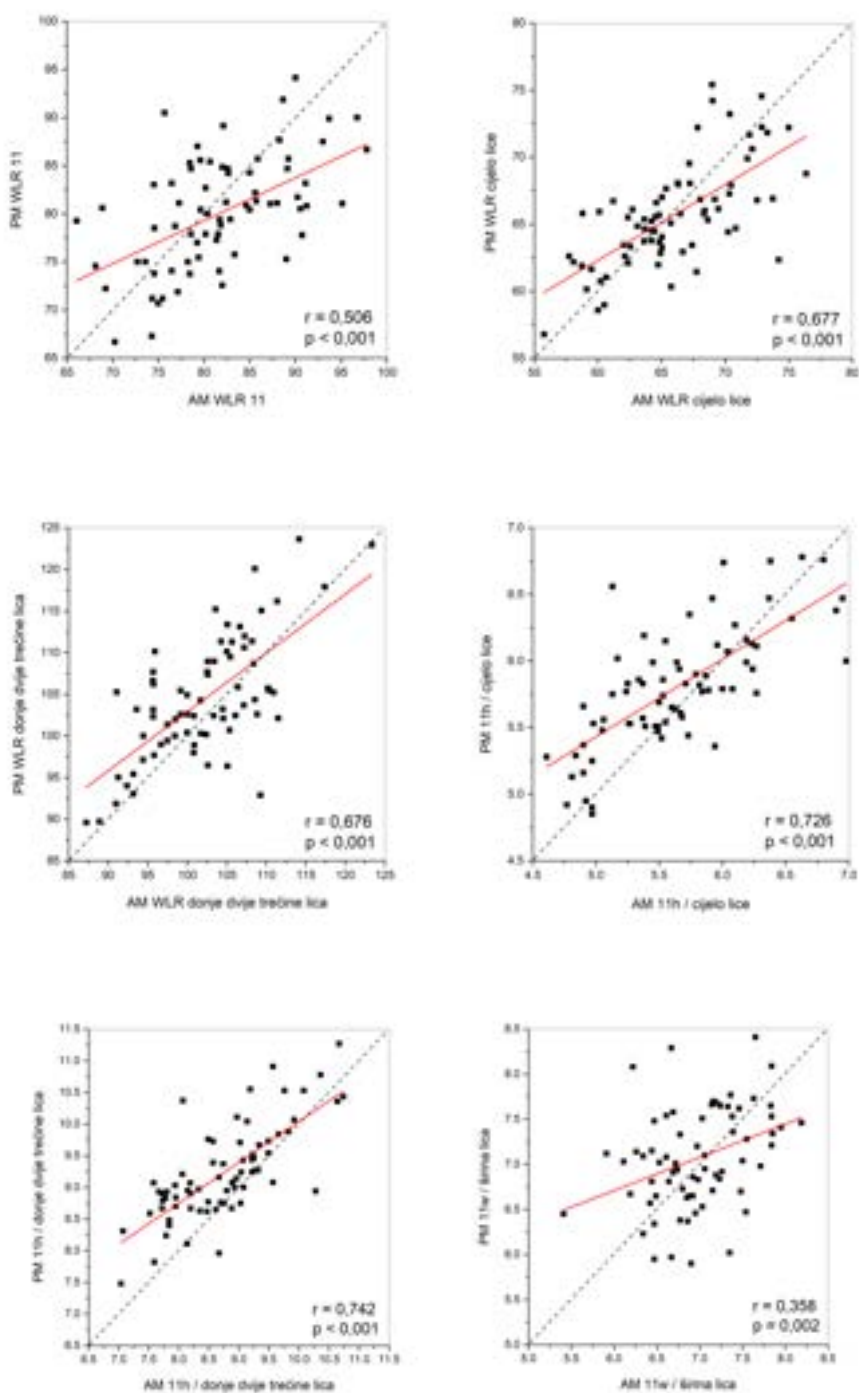


Slika 24. Histogrami omjer širine gornjeg središnjeg sjekutića s udaljenošću između komisura (lijevo) i omjer širine gornjeg središnjeg sjekutića s bipupilarnom udaljenošću (desno).

4.1.6. Korelacije antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica

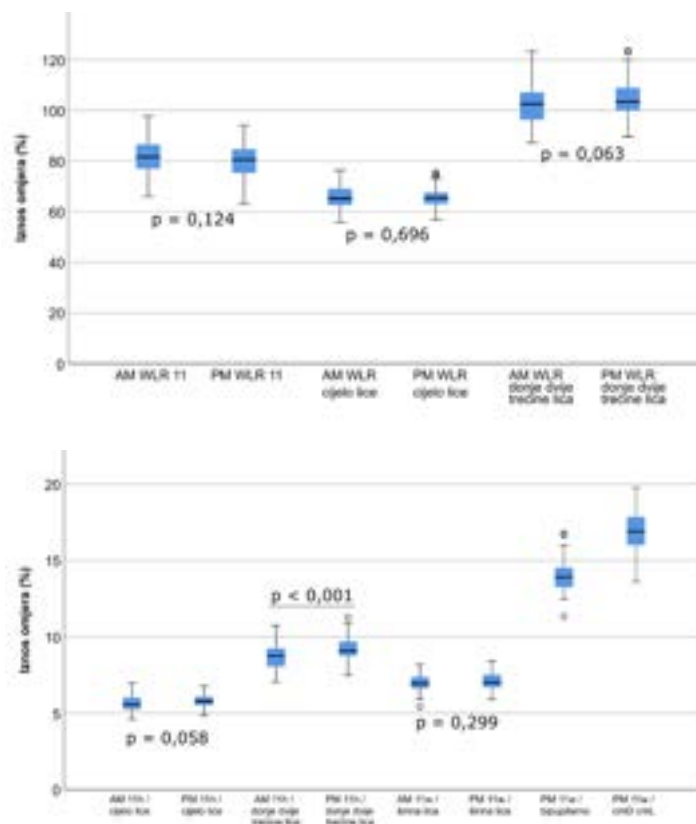
4.1.6.1. Dijagrami raspršenja i korelacijski pravci antropometrijski (AM) i fotogrametrijski (PM) dobivenih omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica

Dijagrami raspršenja i pravci korelacija antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za omjere širine i dužine (WLR) zuba i lica, odnosno za omjere širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica prikazani su na Slici 25. Superpozicijom dijagrama raspršenja s funkcijom $y=x$, omogućava se procjena odstupanja dimenzija dobivenih fotogrametrijom, odnosno antropometrijom. Pravac $y=x$ predstavlja idealnu situaciju u kojoj su mjere dobivene fotogrametrijom i antropometrijom metodama identične, dok točke smještene iznad pravca $x=y$ pripadaju ispitanicima kod kojih fotogrametrija precjenjuje stvarne (antropometrijske) dimenzije. U suprotnom, za točke smještene ispod pravca $x=y$ fotogrametrija podcjenjuje stvarne dimenzije. Opaža se da je u svim slučajevima korelacijski pravac u početku smješten iznad, a zatim ispod funkcije $y=x$, što znači da fotogrametrija prvo precjenjuje (do sjecišta s funkcijom $y=x$), a zatim podcjenjuje antropometrijske vrijednosti. Najviši koeficijenti korelacije opaženi su za omjer dužine gornjeg središnjeg sjekutića s dužinom cijelog lica ($r=0,726$) i omjer dužine gornjeg središnjeg sjekutića s dužinom donje dvije trećine lica ($r=0,742$). Koeficijenti korelacije antropometrijskih i fotogrametrijskih vrijednosti omjera su općenito veći nego isti koeficijenti kod izvornih vrijednosti dimenzija lica i zuba, što u ukazuje na veću dosljednost fotogrametrijskih i antropometrijskih podataka za izračunate omjere nego za izvorno izmjerene dimenzije (u centimetrima i milimetrima).



Slika 25. Dijagrami raspršenja i korelacijski pravci antropometrijski (AM) i fotogrametrijski (PM) dobivenih omjera širine i dužine (WLR) zuba i lica te za omjera širine (11w) i dužine (11h) gornjeg središnjeg sjekutića sa širinom i dužinom lica. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika.

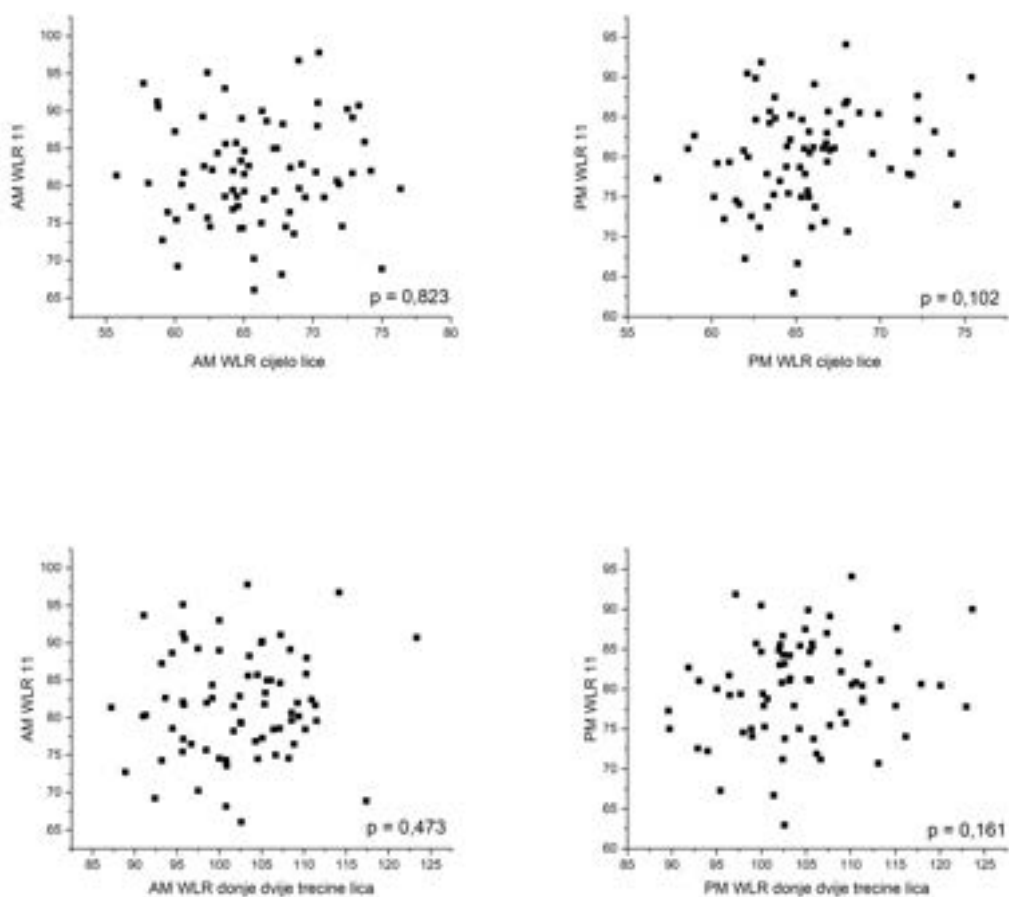
Usporedbom antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za omjere dimenzija lica i zuba opažena je statistički značajna razlika ($p < 0,001$) samo za omjer dužine gornjeg središnjeg sjekutića i dužine donje dvije trećine lica, pri čemu su veće vrijednosti dobivene fotogrametrijom (Slika 26). Ostali omjeri bili su statistički slični bez obzira jesu li izmjereni antropometrijom ili fotogrametrijom. Podudarnost omjera za oba načina mjerenja nastaje jer se precjenjivanje ili podcjenjivanje antropometrijskih vrijednosti od strane fotogrametrije unatoč statističkoj značajnosti kod izvornih vrijednosti do određene mjere poništava računanjem omjera. Naime, ako su pri računanju omjera dimenzije u brojniku i nazivniku srazmjerno precijenjene ili podcijenjene, rezultat računanja omjera će ispasti sličan bez obzira jesu li kao ulazne varijable korištene antropometrijske ili fotogrametrijske vrijednosti.



Slika 26. Usporedbe antropometrijskih i fotogrametrijskih podataka za omjere dimenzija lica i zuba. Statistički značajne razlike označene su vodoravnom crtom iznad stupaca. AM: podaci dobiveni antropometrijom, PM: podaci dobiveni fotogrametrijom.

Omjer širine i dužine (WLR) gornjeg središnjeg sjekutića nije pokazao statistički značajnu korelaciju s odgovarajućim WLR omjerom cijelog lica niti s WLR omjerom donjih dviju trećina lica (Slika 27). Spomenute korelacije nisu bile statistički značajne ni za antropometrijske ($p=0,473 - 0,823$) niti za fotogrametrijske podatke ($p=0,102 - 0,161$).

4.1.6.2. Dijagrami raspršenja za omjer širine i dužine (WLR) gornjeg središnjeg sjekutića naspram omjera širine i dužine cijelog lica i donjih dviju trećina lica



Slika 27. Dijagrami raspršenja u kojima je omjer širine i dužine (WLR) gornjeg središnjeg sjekutića prikazan naspram omjera širine i dužine cijelog lica, odnosno donjih dviju trećina lica. AM: podaci dobiveni antropometrijom, PM: podaci dobiveni fotogrametrijom.

4.1.6.3. Linearna regresijska analiza za omjer širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (11 WLR) s dimenzijama lica na fotogrametrijskim i antropometrijskim podacima

Linearna regresijska analiza za omjer širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (11 WLR) s dimenzijama lica kao prediktorima nije dala značajan rezultat (Tablice 5 i 6). Regresija nije bila statistički značajna ni za antropometrijske podatke ($p = 0,876$), niti za fotogrametrijske podatke ($p = 0,519$).

Linearna regresijska analiza omjera i izvornih dimenzija (s obzirom na to da omjer predstavlja "funkciju" dviju varijabli, dok su prediktori "izvorne" varijable) korištena je na eksploratornoj razini, tj. cilj je bio ispitati postoji li potencijalna povezanost, a ne međuzavisnost samih varijabli.

Varijabla 11 WLR odabrana je kao ishodna jer je estetski relevantna, i može predstavljati konačni produkt koji se može pokušati predvidjeti iz pojedinačnih dimenzija lica.

Tablica 5. Rezultati linearne regresijske analize temeljene na antropometrijskim podacima.

Zavisna varijabla: 11 WLR (antropometrijski)						
Prediktori: Dimenzije lica (antropometrijski)						
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²			
0,876	0,133	0,018	0,041			

Prediktorska varijabla	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti			
	B	Standardna pogreška	Beta	t	p-vrijednost	sr²
AM Tri – N	0,969	1,284	0,094	0,754	0,452	0,008
AM N – Sn	-1,055	2,254	-0,060	-0,468	0,641	0,003
AM Sn – Gn	-1,321	2,031	-0,085	-0,650	0,517	0,006
AM Zy – Zy	0,458	1,375	0,041	0,333	0,740	0,002

Tablica 6. Rezultati linearne regresijske analize temeljene na fotogrametrijskim podacima.

Zavisna varijabla: 11 WLR (fotogrametrijski)			
Prediktori: Dimenzije lica (fotogrametrijski)			
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²
0,519	0,273	0,075	0,011

Prediktorska varijabla	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti			
	B	Standardna pogreška	Beta	t	p-vrijednost	sr ²
PM Tri – N	-1,263	1,384	-0,119	-0,912	0,364	0,012
PM N – Sn	-2,928	1,788	-0,221	-1,637	0,106	0,038
PM Sn – Gn	-1,446	1,488	-0,137	-0,972	0,334	0,013
PM Zy – Zy	0,608	1,413	0,071	0,430	0,668	0,003
PM cmD – cmL	-0,181	2,382	-0,011	-0,076	0,939	0,000
PM bipupilarno	3,916	2,747	0,273	1,425	0,158	0,029

4.1.6.4. Linearna regresijska analiza širinu i dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s dimenzijama lica kao prediktorima – antropometrijska i fotogrametrijska mjerenja

Linearne regresijske analize u kojima su kao zavisne varijable odabrane izvorne dimenzije (visina i dužina) sjekutića umjesto njihova omjera prikazane su u Tablicama 7 – 10. Za fotogrametrijske podatke ima značajnih rezultata, dok za antropometrijske nema.

Linearna regresijska analiza za širinu i dužinu gornjeg središnjeg sjekutića s antropometrijski izmjerenim dimenzijama lica kao prediktorima nije dala značajan rezultat (Tablice 7 i 8).

Međutim, u linearnoj regresijskoj analizi fotogrametrijskih podataka (Tablice 9 i 10), dimenzije N – Sn i Sn – Gn istaknule su se kao statistički značajni prediktori dužine gornjeg središnjeg sjekutića ($p = 0,043$ i $0,007$), dok su dimenzije Sn – Gn i bipupilarna udaljenost bile značajni prediktori širine gornjeg središnjeg sjekutića ($p = 0,025$ i $p = 0,017$).

4.1.6.4.1. Linearna regresijska analiza za antropometrijski izmjerenu dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima

Tablica 7. Rezultati linearne regresijske analize za antropometrijski izmjerenu dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima.

Zavisna varijabla: Dužina gornjeg desnog središnjeg sjekutića (antropometrijski)						
Prediktori: Dimenzije lica (antropometrijski)						
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²			
0,625	0,194	0,038	0,020			

Prediktorska varijabla	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti		t	p-vrijednost	sr ²
	B	Standardna pogreška	Beta				
AM Tri – N	0,037	0,162	0,028		0,225	0,822	0,001
AM N – Sn	0,294	0,285	0,131		1,031	0,306	0,015
AM Sn – Gn	0,046	0,257	0,023		0,178	0,859	0,000
AM Zy – Zy	0,142	0,174	0,101		0,818	0,416	0,010

4.1.6.4.2. Linearna regresijska analiza za antropometrijski izmjerenu širinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima

Tablica 8. Rezultati linearne regresijske analize za antropometrijski izmjerenu širinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima.

Zavisna varijabla: Širina gornjeg desnog središnjeg sjekutića (antropometrijski)						
Prediktori: Dimenzije lica (antropometrijski)						
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²			
0,263	0,272	0,074	0,019			

Prediktorska varijabla	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti		t	p-vrijednost	sr ²
	B	Standardna pogreška	Beta				
AM Tri – N	0,137	0,104	0,161		1,325	0,190	0,024
AM N – Sn	0,120	0,182	0,082		0,660	0,512	0,006
AM Sn – Gn	-0,113	0,164	-0,088		-0,689	0,493	0,007
AM Zy – Zy	0,181	0,111	0,196		1,626	0,109	0,037

4.1.6.4.3. Linearna regresijska analiza za fotogrametrijski izmjerenu dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima

Tablica 9. Rezultati linearne regresijske analize za fotogrametrijski izmjerenu dužinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s fotogrametrijskim dimenzijama lica kao prediktorima. Statistički značajne p-vrijednosti označene su podebljano.

Zavisna varijabla: Dužina gornjeg desnog središnjeg sjekutića (fotogrametrijski)			
Prediktori: Dimenzije lica (fotogrametrijski)			
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²
<0,001	0,576	0,332	0,270

Prediktorska varijabla	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti		t	p-vrijednost	sr ²
	B	Standardna pogreška	Beta				
PM Tri – N	0,240	0,172	0,156		1,400	0,166	0,020
PM N – Sn	0,458	0,222	0,238		2,068	0,043	0,044
PM Sn – Gn	0,512	0,184	0,334		2,776	0,007	0,079
PM Zy – Zy	-0,167	0,175	-0,135		-0,955	0,343	0,009
PM cmD – cmL	0,367	0,295	0,160		1,244	0,218	0,016
PM bipupilarno	0,150	0,340	0,072		0,442	0,660	0,002

4.1.6.4.4. Linearna regresijska analiza za fotogrametrijski izmjerenu širinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s antropometrijskim dimenzijama lica kao prediktorima

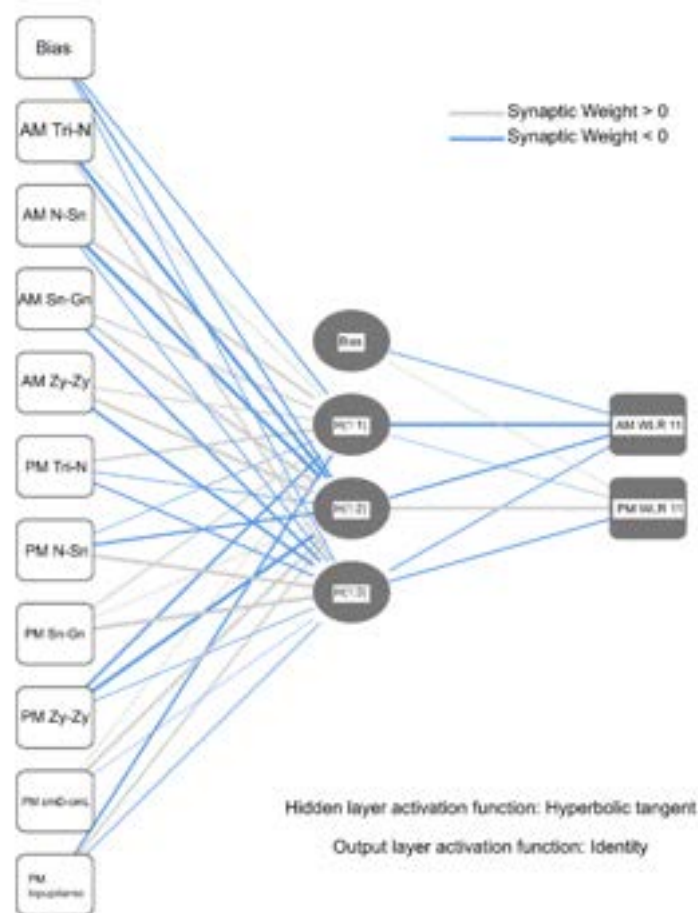
Tablica 10. Rezultati linearne regresijske analize za fotogrametrijski izmjerenu širinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića s fotogrametrijskim dimenzijama lica kao prediktorima. Statistički značajne p-vrijednosti označene su podebljano.

Zavisna varijabla: Širina gornjeg desnog središnjeg sjekutića (fotogrametrijski)			
Prediktori: Dimenzije lica (fotogrametrijski)			
p-vrijednost	R	R ²	Prilagođeni R ²
<0,001	0,666	0,443	0,392

Prediktorska varijabla	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti		t	p-vrijednost	sr ²
	B	Standardna pogreška	Beta				
PM Tri – N	0,074	0,108	0,070		0,686	0,495	0,004
PM N – Sn	0,061	0,139	0,046		0,441	0,661	0,002
PM Sn – Gn	0,265	0,116	0,251		2,288	0,025	0,045
PM Zy – Zy	-0,082	0,110	-0,096		-0,746	0,459	0,005
PM cmD – cmL	0,333	0,185	0,211		1,795	0,077	0,028
PM bipupilarno	0,522	0,214	0,364		2,444	0,017	0,051

4.1.7. Neuronska mreža za procjenu omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (WLR 11) iz antropometrijskih i fotogrametrijskih dimenzija lica

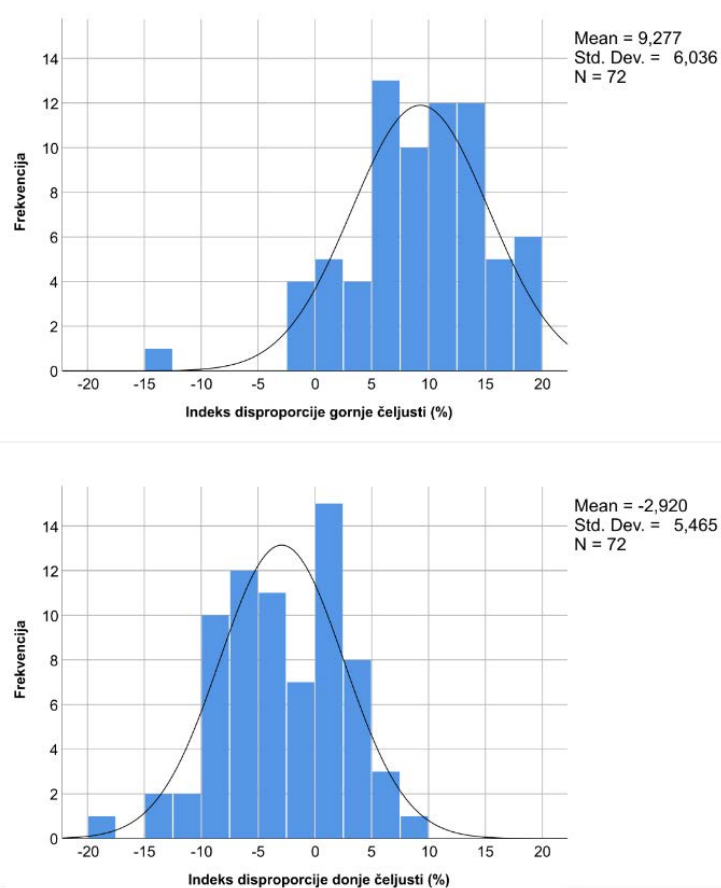
Arhitektura neuronske mreže s ciljem procjene omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (WLR 11) iz izvornih antropometrijskih i fotogrametrijskih dimenzija lica prikazana je na Slici 28. Uspješnost predikcije WLR 11 bila je izrazito niska, s vrijednostima relativne pogreške od 92,4 % za 11 WLR izmjeren antropometrijski i 89,7 % za 11 WLR izmjeren fotogrametrijski.



Slika 28. Arhitektura neuronske mreže za predikciju WLR 11 pomoću izvornih dimenzija lica dobivenih antropometrijom i fotogrametrijom s jednim skrivenim slojem. Sive linije prikazuju sinaptičke veze s težinama pozitivnog predznaka, dok su težine negativnog predznaka označene plavim linijama. Antropometrijske i fotogrametrijske varijable u lijevom stupcu predstavljaju ulazni sloj, u srednjem stupcu se nalaze neuroni skrivenog sloja za integraciju signala, a u desnom stupcu su izlazne varijable WLR 11.

4.1.8. Indeks disproporcije gornje i donje čeljusti

Raspodjele indeksa disproporcije gornje i donje čeljusti prikazane su pomoću histograma na Slici 29. Izmjerene raspodjele nisu značajno odstupale od normalne distribucije i mogle su se aproksimirati Gaussovom krivuljom. Kod indeksa disproporcije gornje čeljusti, sredina raspodjele pomaknuta je izrazito udesno, sa srednjom vrijednošću od 9,3 %. U suprotnom, sredina raspodjele za indeks disproporcije donje čeljusti pomaknut je ulijevo, međutim u znatno manjoj mjeri, odnosno sa srednjom vrijednošću od -2,9 %.



Slika 29. Histogrami za raspodjele indeksa disproporcije gornje i donje čeljusti. Visine stupaca predstavljaju učestalost pojavljivanja pojedinih vrijednosti u ispitivanom uzorku, a crna linija aproksimira normalnu distribuciju u skladu s izmjerenim podacima.

4.1.8.1. Indeks disproporcije gornje i donje čeljusti prema percentilama

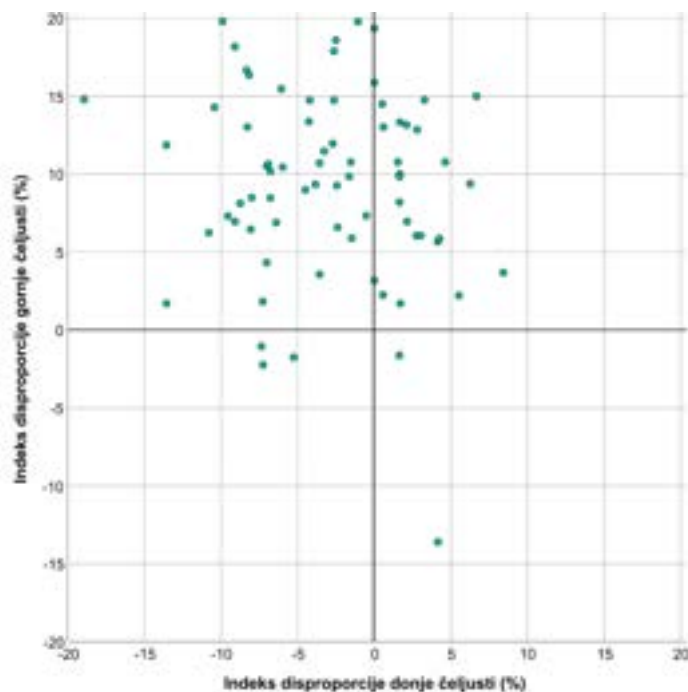
Raspodjele indeksa disproporcije gornje i donje čeljusti prema percentilama prikazane su u Tablici 11. Za indeks disproporcije gornje čeljusti, distribucija je toliko pomaknuta udesno da samo peta percentila ima negativnu vrijednost, dok sve veće percentile imaju pozitivne vrijednosti. Distribucija indeksa disproporcije donje čeljusti u znatno je manjem iznosu pomaknuta ulijevo, s iznosom medijana od -2,63%.

Tablica 11. Percentile za indekse disproporcije gornje i donje čeljusti.

Varijabla	Percentile						
	5	10	25	50	75	90	95
Index disproporcije gornje čeljusti	-1,68	1,73	6,05	9,84	13,36	16,57	18,86
Index disproporcije donje čeljusti	-11,76	-9,41	-7,20	-2,63	1,64	4,14	5,78

4.1.8.2. Dijagram raspršenja indeksa disproporcije gornje i donje čeljusti prema percentilama

Grafičkim prikazom indeksa disproporcije gornje i donje čeljusti pomoću dijagrama raspršenja na Slici 30 opaža se kako većina ispitanika ima pozitivne vrijednosti indeksa disproporcije gornje čeljusti, dok samo 5 ispitanika ima negativne vrijednosti. S obzirom na indeks disproporcije donje čeljusti, većina ispitanika imala je negativne vrijednosti, a uz to je raspon negativnih vrijednosti bio više od dvostruko širi (do -18,9 %) od raspona pozitivnih vrijednosti (do +8,4 %). Sveukupno, većina ispitanika nalazi se u gornjem lijevom kvadrantu, s pozitivnim vrijednostima indeksa disproporcije gornje čeljusti i negativnim vrijednostima indeksa disproporcije donje čeljusti. Na dijagramu raspršenja ne opaža se mogućih povezanosti indeksa disproporcije gornje i donje čeljusti koje bi ukazivale na možebitne korelacije ovih dviju varijabli.



Slika 30. Dijagram raspršenja za indekse disproporcije gornje i donje čeljusti. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika.

4.1.8.3. Korelacije s indeksom disproporcije gornje čeljusti

Značajne korelacije s indeksom disproporcije gornje čeljusti opažene su kod antropometrijskih podataka za dimenzije Tri – N, N – Sn i Sn – Gn, dok su za fotogrametrijske podatke korelacije bile značajne za dimenzije Tri – N i N – Sn, ali ne i za Sn – Gn (Tablica 12). Od navedenih značajnih rezultata korelacijske analize, indeks disproporcije gornje čeljusti negativno je korelirao s dimenzijom N – Sn, a pozitivno s preostale dvije dimenzije (Tri – N i Sn – Gn). Dimenzije širine lica i dimenzije gornjeg središnjeg sjekutića nisu značajno korelirale s indeksom disproporcije gornje čeljusti.

Tablica 12. Korelacije s indeksom disproporcije gornje čeljusti (Pearsonov koeficijent korelacije „r“))

Dimenzija	AM		PM	
	Koeficijent korelacije r	p-vrijednost	Koeficijent korelacije r	p-vrijednost
Tri – N	0,626	<0,001	0,388	0,001
N – Sn	-0,556	<0,001	-0,411	<0,001
Sn – Gn	0,334	0,004	N. S.	0,292
Zy – Zy	N. S.	0,868	N. S.	0,207
11h	N. S.	0,514	N. S.	0,640
11w	N. S.	0,829	N. S.	0,831
cmD – cmL	-	-	N. S.	0,942
bipupilarno	-	-	N. S.	0,907

N. S.: Koeficijenti korelacije nisu prikazani jer rezultat korelacijske analize nije bio statistički značajan

4.1.8.4. Korelacije s indeksom disproporcije donje čeljusti

Značajne korelacije s indeksom disproporcije donje čeljusti opažene su i kod antropometrijskih i kod fotogrametrijskih podataka za dimenzije Tri – N i Sn – Gn (Tablica 13). Korelacija s dimenzijom Tri – N je bila pozitivna, dok je korelacija s dimenzijom Sn – Gn bila negativna. Dimenzije širine lica i dimenzije gornjeg središnjeg sjekutića nisu značajno korelirale s indeksom disproporcije donje čeljusti.

Tablica 13. Korelacije s indeksom disproporcije donje čeljusti.

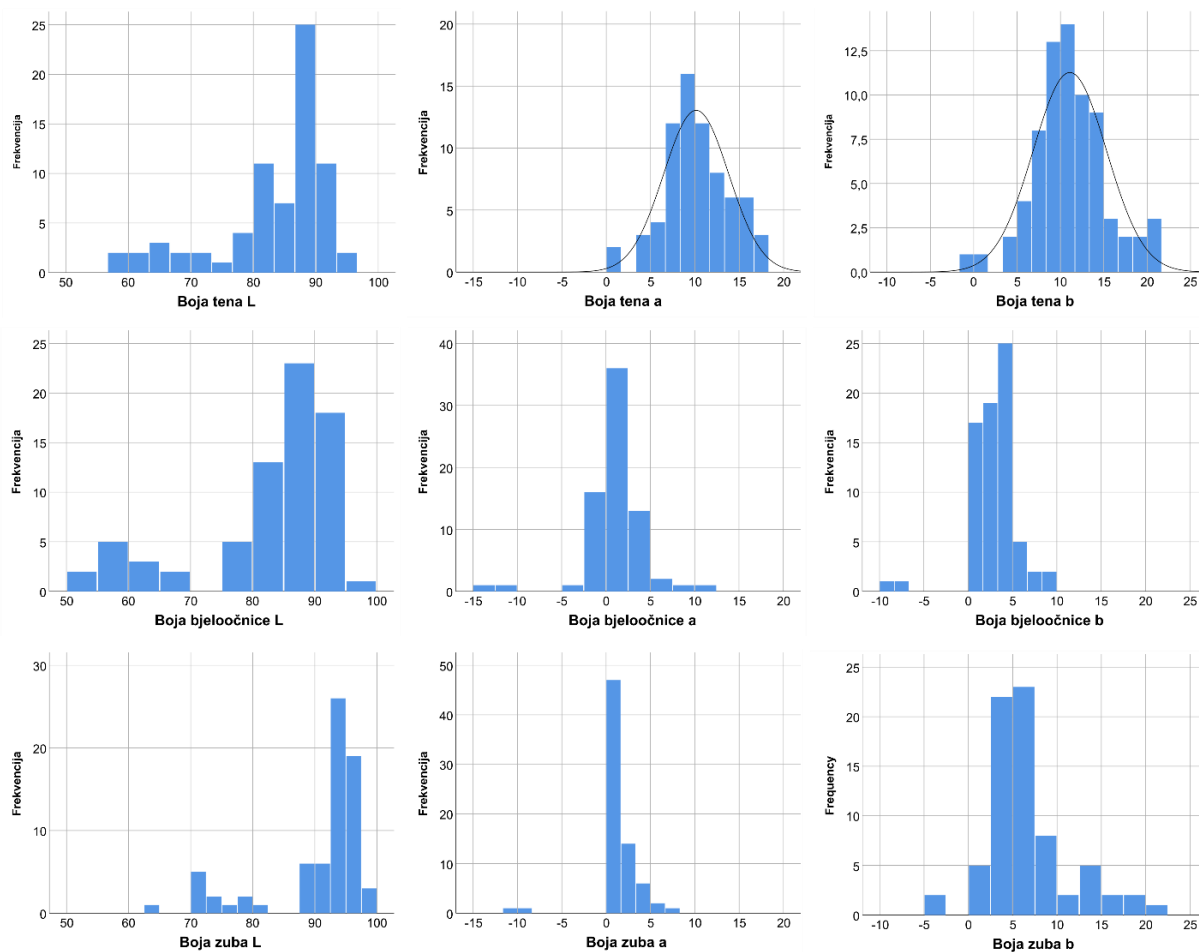
Dimenzija	AM		PM	
	Koeficijent korelacije r	p-vrijednost	Koeficijent korelacije r	p-vrijednost
Tri – N	0,502	<0,001	0,422	<0,001
N – Sn	N. S.	0,064	N. S.	0,076
Sn – Gn	-0,602	<0,001	-0,540	<0,001
Zy – Zy	N. S.	0,730	N. S.	0,981
11h	N. S.	0,673	N. S.	0,979
11w	N. S.	0,154	N. S.	0,350
cmD – cmL	-	-	N. S.	0,749
bipupilarno	-	-	N. S.	0,508

N. S.: Koeficijenti korelacije nisu prikazani jer rezultat korelacijske analize nije bio statistički značajan

4.2. Rezultati kolorimetrijskih podataka

4.2.1. Histogrami za fotogrametrijske vrijednosti L^* , a^* i b^* boji tena, bjeloočnice i zuba

Histogrami za fotogrametrijske podatke o boji tena, bjeloočnice i zuba prikazani su na Slici 31 u obliku vrijednosti koordinata L^* , a^* i b^* u prostoru boja CIELAB, a distribucije istih varijabli su dodatno opisane pomoću percentila u Tablici 14. Podaci su za većinu varijabli značajno odstupali od normalne distribucije, pri čemu su samo vrijednosti a^* i b^* za boju tena bile približno normalno distribuirane, što je prikazano Gaussovom krivuljom superponiranom preko histograma.



Slika 31. Fotogrametrijske vrijednosti L^* , a^* i b^* za boju tena (gornji red), bjeloočnice (srednji red) i zuba (donji red). Crna linija aproksimira normalnu distribuciju za podatke koji su bili normalno distribuirani (samo a^* i b^* za boju tena). Vrijednosti na y-osi prilagođene su rasponu frekvencija za pojedinu varijablu i stoga nisu standardizirane među panelima.

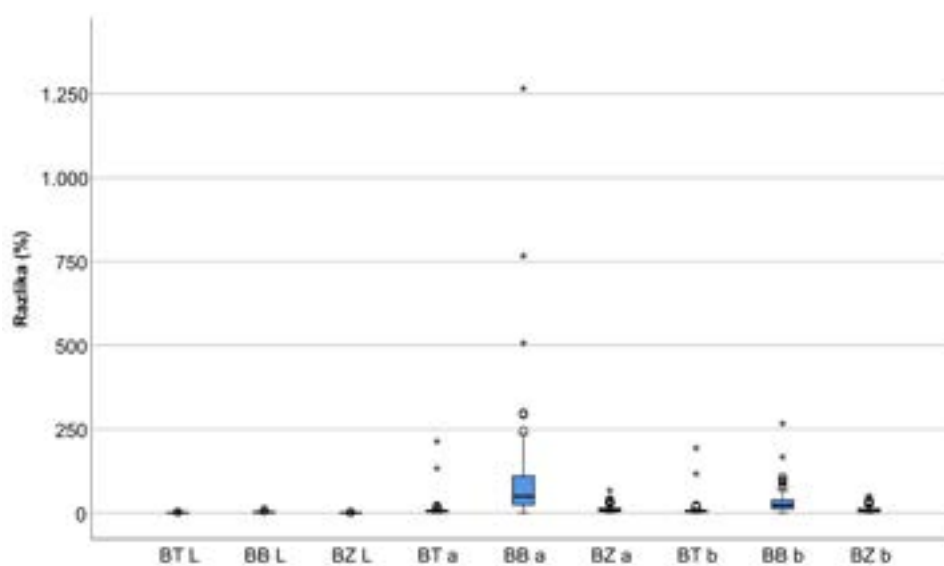
4.2.2. Percentile za fotogrametrijske vrijednosti L^* , a^* i b^* za boju tena, bjeloočnice i zuba**Tablica 14.** Percentile za fotogrametrijske vrijednosti L^* , a^* i b^* za boju tena, bjeloočnice i zuba.

Varijabla	Percentile						
	5	10	25	50	75	90	95
Boja tena (BT) L	61,39	66,61	80,44	86,97	89,16	91,88	92,88
Boja tena (BT) a	4,43	5,50	7,93	9,58	12,25	15,29	16,36
Boja tena (BT) b	4,42	6,02	8,50	10,70	13,57	16,72	19,70
Boja bjeloočnice (BB) L	57,23	60,06	80,39	86,75	90,02	92,54	93,15
Boja bjeloočnice (BB) a	-2,04	-1,02	-0,06	0,95	2,35	3,69	5,63
Boja bjeloočnice (BB) b	0,12	0,90	1,61	2,98	4,58	5,95	7,38
Boja zuba (BZ) L	70,62	73,87	89,54	93,62	95,32	96,76	97,31
Boja zuba (BZ) a	0,29	0,52	0,84	1,29	2,22	3,93	4,68
Boja zuba (BZ) b	1,03	2,38	3,84	5,88	7,84	13,35	17,22

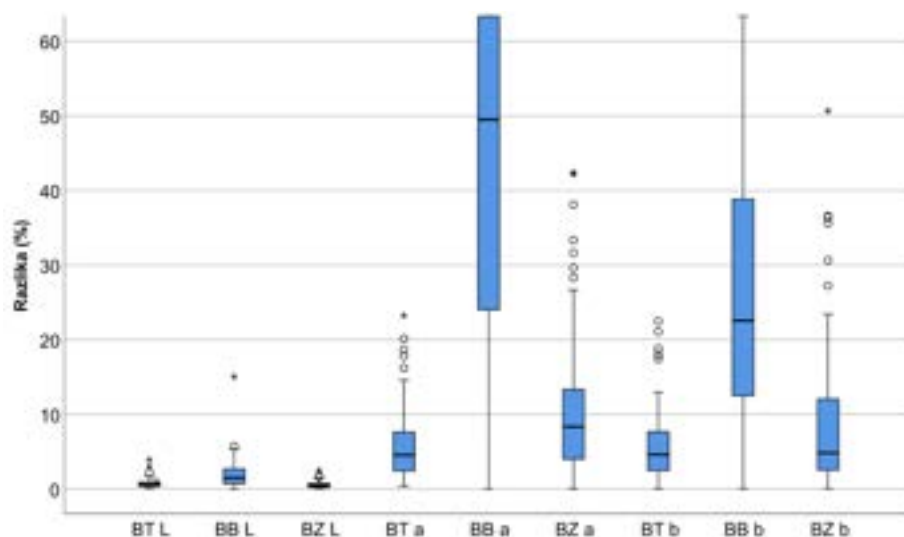
4.2.3. Odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri mjerenja od prosječne vrijednosti za parametre boje L^* , a^* i b^*

Odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri ponavljanja od prosječne vrijednosti za parametre boje L^* , a^* i b^* prikazana su na Slici 32 kao srednja razlika između tri ponavljena mjerenja i prosječne vrijednosti (%). Kod varijable BB (boja bjeloočnice) a^* opažena su ekstremne razlike pojedinačnih mjerenja od preko 1.250 %, dok su za sve ostale varijable razlike bile dva do tri reda veličine manje. Stoga su isti rezultati prikazani na Slici 33 uz niži raspon vrijednosti na y-osi, kako bi se lakše vizualizirale vrijednosti ostalih varijabli sa znatno manjim vrijednostima nego BB a^* . Odstupajuće vrijednosti označene su kružićima, a ekstremne odstupajuće vrijednosti zvjezdicama. Brojevi navedeni uz te vrijednosti odgovaraju šiframa ispitanika (1-72). Opaža se da se kod određenih ispitanika pojavljuje povećana nepouzdanost mjerenja, odnosno veća razlika triju ponavljanja od prosječne vrijednosti (ispitanici 2 i 3 za BT (boja tena) a^* i BT b^*), međutim, za većinu odstupajućih vrijednosti nije bilo ovih pravilnosti.

Na slici sa skalom nižeg raspona vrijednosti (Slika 33) opaža se da su mjerenja općenito mjerenja za parametar boje L^* bila najpouzdanija, s medijalnim odstupanjem pojedinih mjerenja od srednje vrijednosti od 0,46 do 1,49% (Tablica 15). Mjerenja parametara a^* i b^* bila su znatno nepouzdanija od parametra L^* , uz medijalna odstupanja pojedinih mjerenja od srednje vrijednosti od 4,53 do 49,50 %. Mjerenja parametara BB a^* i BB b^* su bila općenito najmanje pouzdana, uz medijalna odstupanja pojedinih mjerenja od srednje vrijednosti od 49,50 % i 22,54 %. Za ova dva parametra su također opažene ekstremne odstupajuće vrijednosti do preko 1.250 %. Kod svih parametara (L^* , a^* , b^*), mjerenja na bjeloočnici su bila općenito manje pouzdana od mjerenja na koži i zuba.



Slika 32. Srednja razlika (%) između tri ponavljana mjerenja i prosječne vrijednosti (puna skala koja obuhvaća sve vrijednosti). BT – boja tena; BB – boja bjeloočnice; BZ – boja zuba.



Slika 33. Srednja razlika (%) između tri ponavljana mjerenja i prosječne vrijednosti (skala s nižim rasponom koji obuhvaća vrijednosti svih varijabli osim varijable BB a*). BT – boja tena; BB – boja bjeloočnice; BZ – boja zuba.

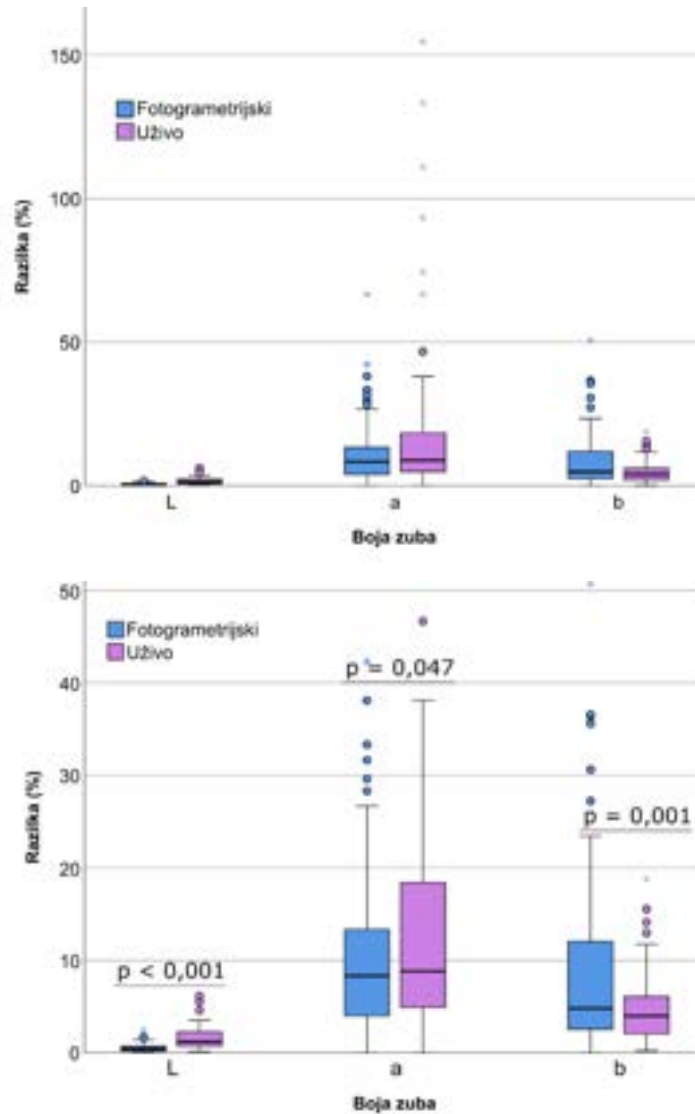
4.2.3.1. Percentile za srednju razliku (%) između tri ponavljana mjerenja i prosječne vrijednosti.

Tablica 15. Percentile za srednju razliku (%) između tri ponavljana mjerenja i prosječne vrijednosti.

Varijabla	Percentile						
	5	10	25	50	75	90	95
Razlika BT L (%)	0,11	0,12	0,37	0,56	0,93	1,57	1,83
Razlika BB L (%)	0,29	0,45	0,68	1,49	2,67	3,83	5,10
Razlika BZ L (%)	0,06	0,11	0,22	0,46	0,75	1,17	1,49
Razlika BT a (%)	0,87	1,27	2,35	4,53	7,63	15,71	21,21
Razlika BB a (%)	7,57	9,78	23,51	49,50	115,00	241,73	370,36
Razlika BZ a (%)	1,57	2,19	3,99	8,33	13,33	29,24	39,52
Razlika BT b (%)	0,82	1,30	2,42	4,58	7,69	16,07	21,57
Razlika BB b (%)	7,64	8,36	12,50	22,54	38,99	76,00	100,67
Razlika BZ b (%)	0,74	1,35	2,50	4,82	12,08	22,79	35,89

4.2.3.2. Odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri ponavljanja od prosječne vrijednosti za parametre boje zuba L^* , a^* i b^* ; usporedba istih odstupanja između podataka dobivenih fotogrametrijski naspram podataka izmjerenih uživo

Na Slici 34 prikazana su odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri ponavljanja od prosječne vrijednosti za parametre boje zuba L^* , a^* i b^* te je učinjena usporedba istih odstupanja između podataka dobivenih fotogrametrijski naspram podataka izmjerenih uživo. Opažene su statistički značajne razlike za sva tri parametra boje, pri čemu je za parametre L^* i a^* veća odstupanja (tj. manju preciznost) pokazalo mjerenje uživo, dok su za parametar b^* odstupanja bila veća kod fotogrametrije. Za parametar boje a^* opažen je znatan broj odstupajućih vrijednosti kod oba načina određivanja boje, međutim, najveći broj ekstremnih odstupajućih vrijednosti uz najveći raspon opažen je za parametar boje a dobiven mjerenjima uživo. Za parametar boje L^* opaženi su najuži rasponi bez ekstremnih odstupajućih vrijednosti, što ukazuje na relativno veću dosljednost triju ponovljenih mjerenja za ovaj parametar u usporedbi s preostala dva parametra (a^* i b^*), bez obzira na način mjerenja (fotogrametrijski ili uživo).

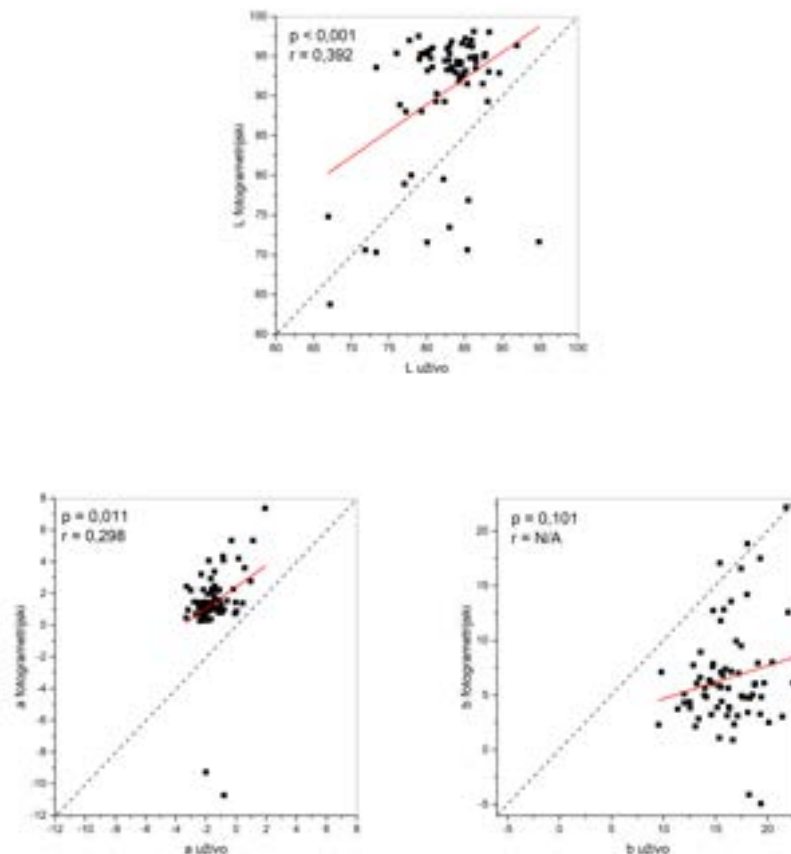


Slika 34. Usporedba između fotogrametrije i mjerenja uživo za srednje razlike (%) između tri ponavljana mjerenja i prosječne vrijednosti boje zuba određene fotogrametrijski, odnosno mjerenjima uživo. Skala koja obuhvaća sve vrijednosti na y-osi prikazana je na gornjem panelu, dok je na donjem panelu prikazana skala s nižim rasponom kako bi se lakše vizualizirale razlike među skupinama. Prikazane su p-vrijednosti za usporedbe između fotogrametrijskih mjerenja i mjerenja uživo. Odstupajuće vrijednosti označene su kružićima, a ekstremne odstupajuće vrijednosti zvjezdicama.

4.2.4. Korelacije između fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka za boju zuba, bjeloočnice i tena

4.2.4.1. Korelacije između fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka za boju zuba

Na Slici 35 prikazane su korelacije između fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka za boju zuba. Korelacije su bile statistički značajne za parametre boje L^* i a^* , s koeficijentima korelacije r od 0,392 i 0,298, dok za parametar b^* korelacija nije bila statistički značajna. Kod parametara L^* i a^* fotogrametrijski su procijenjene vrijednosti općenito bile veće od vrijednosti izmjerenih uživo, što je vidljivo kao grupiranje točaka iznad pravca $y=x$. U suprotnom, za parametar b^* gotovo sve su se točke nalazile ispod pravca $y=x$, što pokazuje da su fotogrametrijske vrijednosti općenito bile niže od vrijednosti izmjerenih uživo.



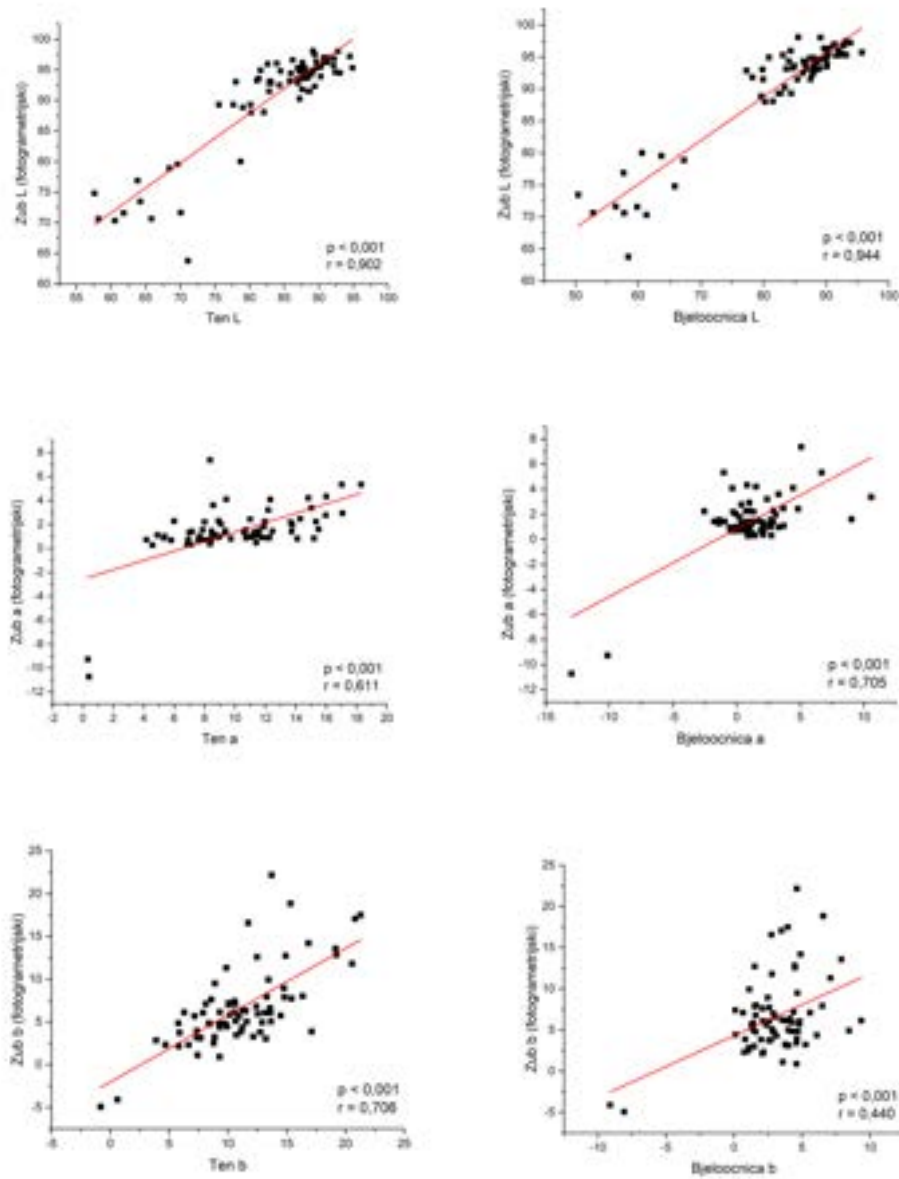
Slika 35. Korelacijski pravci za parametre boje zuba L^* , a^* i b^* izmjerene fotogrametrijski naspram uživo prikazani crvenim linijama i funkcija $y=x$ prikazana isprekidanom crnom linijom. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika.

4.2.4.2. Korelacije boje zuba s bojom tena i bjeloočnice – fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka

Rezultati analiza za korelaciju boje zuba s bojom tena i bjeloočnice prikazani su na Slici 36 (za fotogrametrijski određenu boju zuba) i Slici 37 (za boju zuba izmjerenu uživo). Korelacije za fotogrametrijski određenu boju zuba bile su statistički značajne za sve parametre boje i pokazale su veće korelacijske koeficijente ($r=0,440 - 0,944$) nego korelacije za boju zuba izmjerenu uživo ($r=0,254 - 0,372$). Uz to, za boju zuba izmjerenu uživo, korelacije pojedinih koordinata boje (parametri a^* i b^* za boju bjeloočnice te parametar b^* za boju tena) nisu statistički značajno korelirali s bojom zuba.

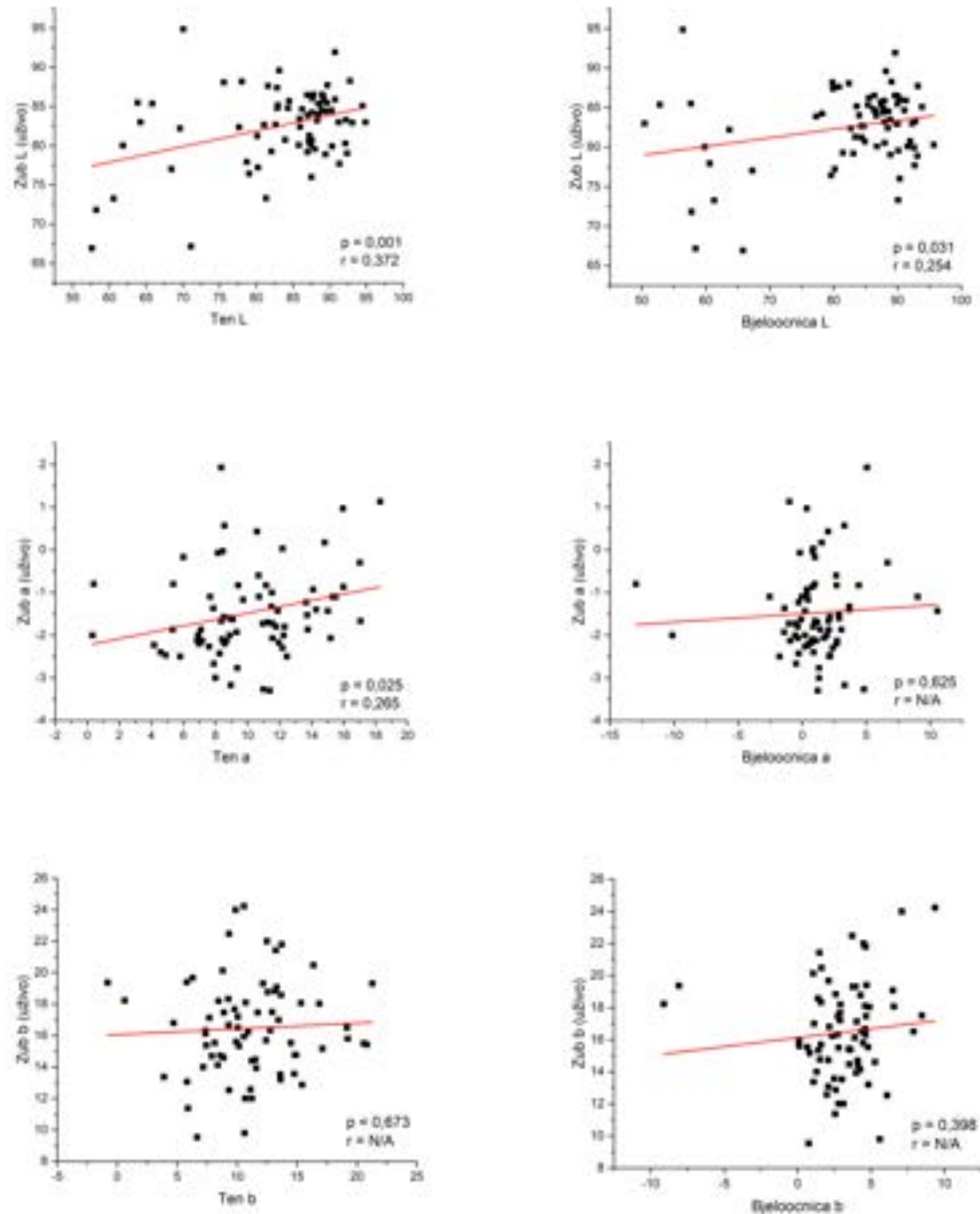
Od svih ispitanih korelacija boje zuba s bojom tena i bjeloočnice, najistaknutija je bila korelacija parametra L^* za boju tena s parametrom L^* za fotogrametrijski određenu boju zuba ($r=0,902$) i korelacija parametra L^* za boju bjeloočnice s parametrom L^* za fotogrametrijski određenu boju zuba ($r=0,944$). Razmjerno visokim mogu se smatrati i korelacije za parametar a^* boje zuba s bojom tena ($r=0,611$) i bojom bjeloočnice ($r=0,705$) te korelacije za parametar b^* boje zuba s bojom tena ($r=0,706$), dok je za isti parametar boje zuba s bojom bjeloočnice korelacija bila značajna, ali manje izražena ($r=0,440$).

4.2.4.2.1. Dijagrami raspršenja (L^* , a^* i b^*) i korelacija između boje zuba naspram boje tena i bjeloočnice – određene fotogrametrijski



Slika 36. Dijagrami raspršenja za parametre boje (L^* , a^* i b^*) i rezultati analize za korelaciju između boje zuba (određene fotogrametrijski) naspram boje tena i bjeloočnice. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika.

4.2.4.2.2. Dijagrami raspršenja (L^* , a^* i b^*) i korelacija između boje zuba naspram boje tena i bjeloočnice – određene uživo



Slika 37. Dijagrami raspršenja za parametre boje (L^* , a^* i b^*) i rezultati analize za korelaciju između boje zuba (određene uživo) naspram boje tena i bjeloočnice. Svaka točka predstavlja jednog ispitanika. Korelacijski koeficijenti R nisu specificirani u slučaju ne-značajnih korelacija.

4.2.5. Linearna regresijska analiza s parametrima boje zuba (L^ , a^* , b^*) kao zavisnim varijablama te parametrima boje tena i bjeloočnice kao prediktorima*

Rezultati linearnih regresijskih analiza s parametrima boje zuba (L^* , a^* , b^*) kao zavisnim varijablama te parametrima boje tena i bjeloočnice kao prediktorima prikazane su u Tablicama 16-21. Uz svaku tablicu su na pripadajućoj slici prikazane apsolutne vrijednosti standardiziranih koeficijenata Beta radi vizualizacije relativnih utjecaja pojedinih prediktora (Slike 38 – 41). Za regresijske modele koji nisu bili statistički značajni, prikazana je samo ukupna p-vrijednost modela, bez detaljnog tabličnog i grafičkog prikaza regresijskih koeficijenata.

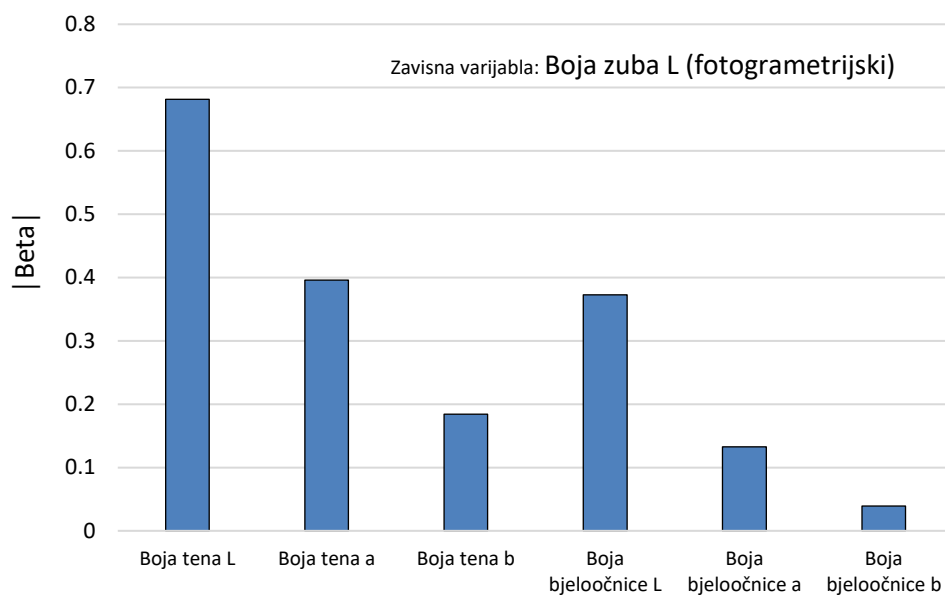
Izrazito uspješan bio je regresijski model za fotogrametrijski određen parametar boje zuba L^* (Tablica 16 i Slika 38). Taj model objašnjavao je čak 92,1 % ukupne varijance temeljem parametara boje tena i bjeloočnice kao prediktora. Prema Beta koeficijentima, najutjecajni prediktori bili su boja tena L^* , boja tena a^* i boja bjeloočnice L^* . Međutim, semiparcijalne korelacije pokazuju kako su jedinstveni doprinosi pojedinačnih prediktora bili su vrlo mali, što pokazuje da je većina objašnjene varijance bila zajednička među prediktorima, a ne jedinstvena za pojedini prediktor. U usporedbi s opisanim regresijskim modelom, modeli za fotogrametrijski određene parametre boje zuba a^* i b^* objašnjavali su nešto manji udio ukupne varijance (65,4 % za parametar a^* , odnosno 66,4 % za parametar b^*).

Regresijski modeli za boju zuba izmjerenu uživo bili su izrazito manje uspješni od odgovarajućih modela za fotogrametrijski određenu boju zuba. Pritom je samo model za parametar L^* uživo izmjerene boje zuba bio statistički značajan, uz razmjerno nizak udio objašnjene varijance (22,9%) u usporedbi s prethodno opisanim znatno uspješnijim modelima. Nadalje, regresijski modeli za preostala dva parametra (a^* i b^*) uživo izmjerene boje zube nisu bili statistički značajni ($p=0,109 - 0,366$).

4.2.5.1. Linearna regresijska analiza za parametar L^* fotogrametrijski određene boje zuba**Tablica 16.** Rezultati linearne regresijske analize za parametar L^* fotogrametrijski određene boje zuba.

Zavisna varijabla: Boja zuba L (fotogrametrijski)						
Prediktori: Boja tena (L, a, b) i boja bjeloočnice (L, a, b)						
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²			
<0,001	0,963	0,928	0,921			

	Nestandardizirani		Standardizirani			
	koeficijenti		koeficijenti			
	B	Standardna pogreška	Beta	t	p- vrijednost	sr ²
Boja tena L	0,614	0,121	0,681	5,087	<0,001	0,029
Boja tena a	0,887	0,224	0,396	3,960	<0,001	0,017
Boja tena b	-0,356	0,170	-0,184	-2,091	0,040	0,005
Boja bjeloočnice L	0,270	0,080	0,373	3,394	0,001	0,013
Boja bjeloočnice a	-0,354	0,202	-0,133	-1,749	0,085	0,003
Boja bjeloočnice b	0,117	0,211	0,039	0,555	0,581	0,000

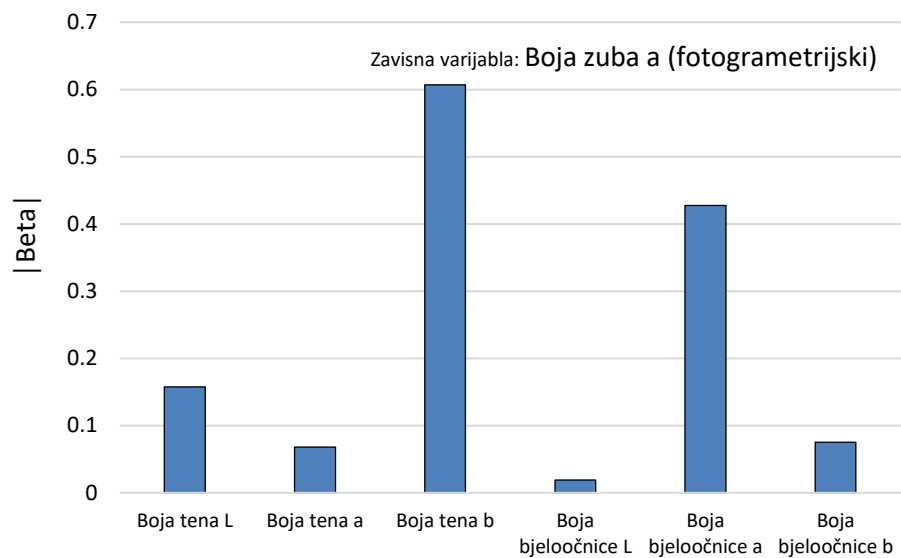


Slika 38. Apsolutne vrijednosti koeficijenta Beta iz regresijske analize za parametar L^* fotogrametrijski određene boje zuba.

4.2.5.2. Linearna regresijska analiza za parametar a^* fotogrametrijski određene boje zuba**Tablica 17.** Rezultati linearne regresijske analize za parametar a^* fotogrametrijski određene boje zuba.

Zavisna varijabla: Boja zuba a (fotogrametrijski)						
Prediktori: Boja tena (L, a, b) i boja bjeloočnice (L, a, b)						
p-vrijednost	R	R ²	Prilagođeni R ²			
<0,001	0,827	0,683	0,654			

	Nestandardizirani		Standardizirani		p-vrijednost	sr ²
	koeficijenti		koeficijenti			
	B	Standardna pogreška	Beta	t		
Boja tena L	0,041	0,073	0,157	0,561	0,577	0,002
Boja tena a	-0,044	0,135	-0,068	-0,325	0,746	0,001
Boja tena b	0,337	0,103	0,607	3,288	0,002	0,053
Boja bjeloočnice L	-0,004	0,048	-0,019	-0,082	0,935	0,000
Boja bjeloočnice a	0,327	0,122	0,428	2,691	0,009	0,035
Boja bjeloočnice b	0,064	0,127	0,075	0,507	0,614	0,001

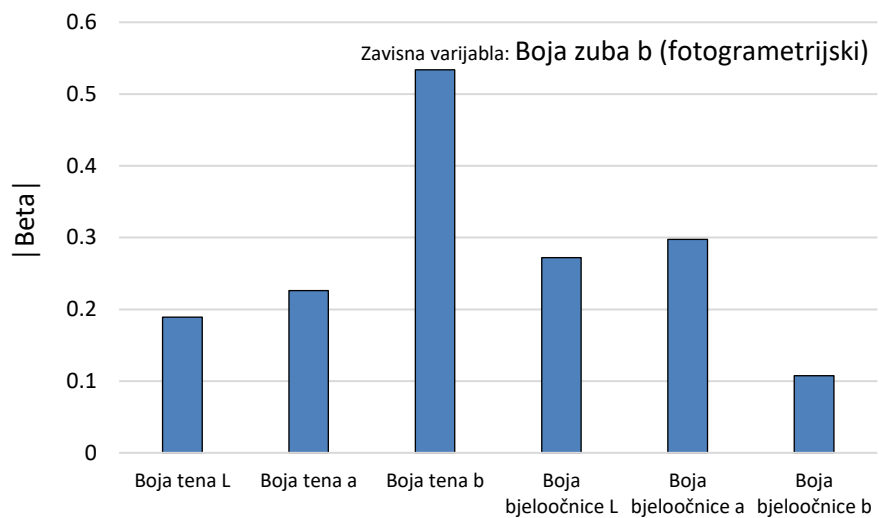


Slika 39. Apsolutne vrijednosti koeficijenta Beta iz regresijske analize za parametar a^* fotogrametrijski određene boje zuba.

4.2.5.3. Linearna regresijska analiza za parametar b^* fotogrametrijski određene boje zuba**Tablica 18.** Rezultati linearne regresijske analize za parametar b^* fotogrametrijski određene boje zuba.

Zavisna varijabla: Boja zuba b (fotogrametrijski)						
Prediktori: Boja tena (L, a, b) i boja bjeloočnice (L, a, b)						
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²			
<0,001	0,832	0,692	0,664			

	Nestandardizirani		Standardizirani		p-	st ²
	koeficijenti		koeficijenti			
	B	Standardna pogreška	Beta	t	vrijednost	
Boja tena L	-0,098	0,143	-0,189	-0,684	0,497	0,002
Boja tena a	-0,290	0,265	-0,226	-1,095	0,278	0,006
Boja tena b	0,592	0,202	0,534	2,934	0,005	0,041
Boja bjeloočnice L	-0,113	0,094	-0,272	-1,199	0,235	0,007
Boja bjeloočnice a	0,454	0,239	0,297	1,898	0,062	0,017
Boja bjeloočnice b	0,184	0,249	0,108	0,738	0,463	0,003

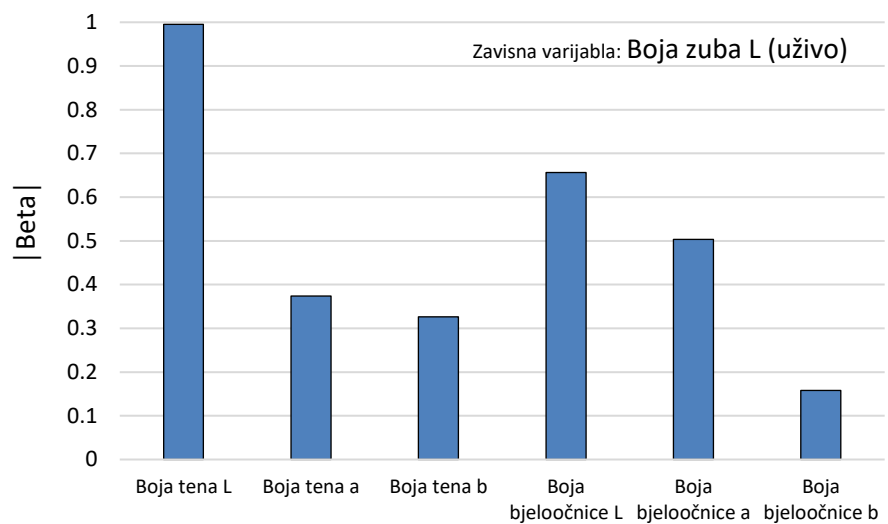


Slika 40. Apolutne vrijednosti koeficijenta Beta iz regresijske analize za parametar b^* fotogrametrijski određene boje zuba.

4.2.5.4. Linearna regresijska analiza za parametar L^* uživo izmjerene boje zuba**Tablica 19.** Rezultati linearne regresijske analize za parametar L^* uživo izmjerene boje zuba.

Zavisna varijabla: Boja zuba L (uživo)						
Prediktori: Boja tena (L, a, b) i boja bjeloočnice (L, a, b)						
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²			
0,001	0,542	0,294	0,229			

	Nestandardizirani		Standardizirani		p-	sr ²
	koeficijenti		koeficijenti			
	B	Standardna pogreška	Beta	t	vrijednost	
Boja tena L	0,535	0,225	0,996	2,376	0,020	0,061
Boja tena a	0,500	0,418	0,374	1,196	0,236	0,016
Boja tena b	-0,377	0,318	-0,326	-1,183	0,241	0,015
Boja bjeloočnice L	-0,284	0,149	-0,657	-1,911	0,060	0,040
Boja bjeloočnice a	-0,801	0,378	-0,503	-2,122	0,038	0,049
Boja bjeloočnice b	0,281	0,393	0,158	0,714	0,478	0,006



Slika 41. Apolutne vrijednosti koeficijenta Beta iz regresijske analize za parametar L^* uživo izmjerene boje zuba.

4.2.5.5. Linearna regresijska analiza za parametre a^* i b^* uživo izmjerene boje zuba**Tablica 20.** Rezultati linearne regresijske analize za parametar a^* uživo izmjerene boje zuba.

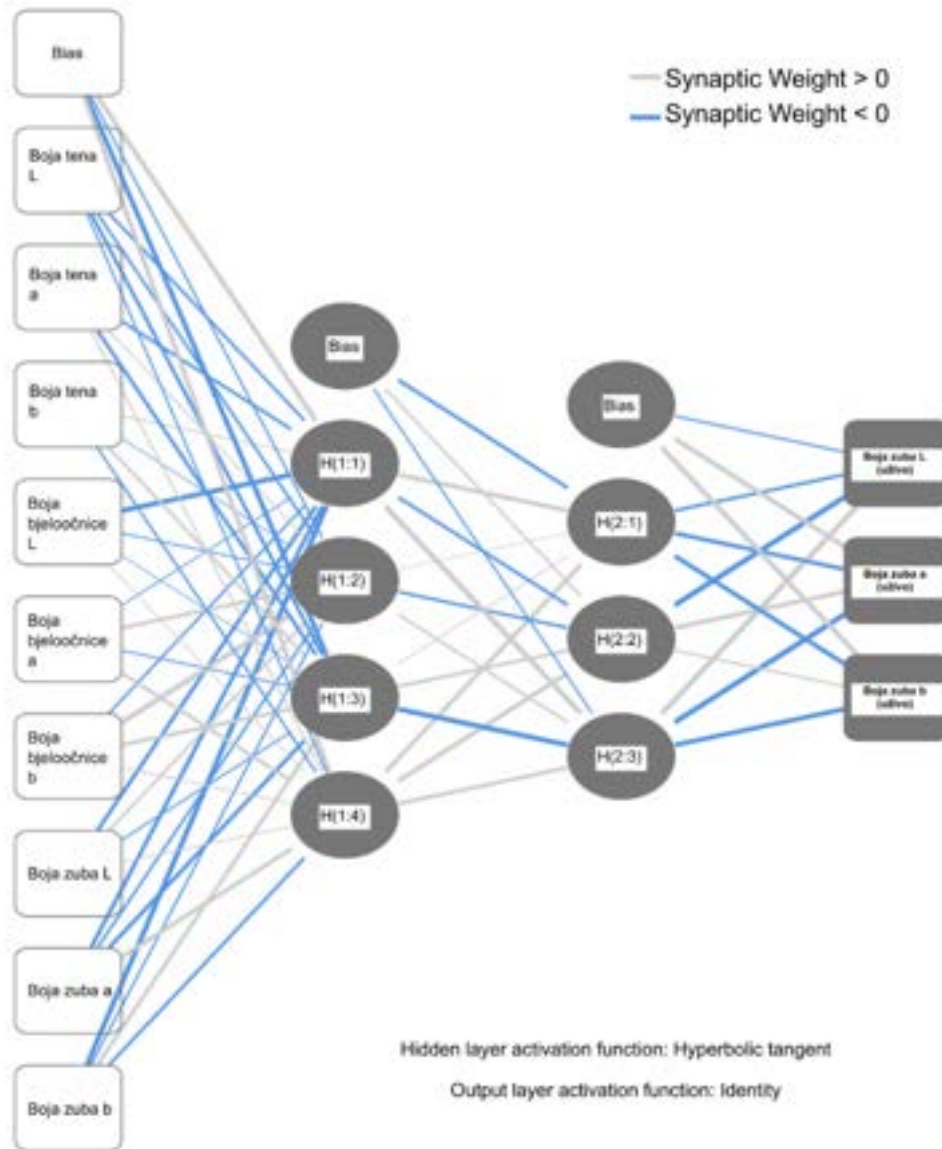
Zavisna varijabla: Boja zuba a (uživo)			
Prediktori: Boja tena (L, a, b) i boja bjeloočnice (L, a, b)			
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²
0,109	N. S.	N. S.	N. S.

Tablica 21. Rezultati linearne regresijske analize za parametar b^* uživo izmjerene boje zuba.

Zavisna varijabla: Boja zuba b (uživo)			
Prediktori: Boja tena (L, a, b) i boja bjeloočnice (L, a, b)			
p-vrijednost	R	R²	Prilagođeni R²
0,366	N. S.	N. S.	N. S.

4.2.6. Neuronska mreža-predikcija uživo izmjerenih parametri boje zuba (L^ , a^* , b^*) iz fotogrametrijskih podataka o boji tena, bjeloočnice i zuba*

Shematski prikaz arhitekture neuronske mreže za predviđanje uživo izmjerenih parametara boje zuba (L^* , a^* , b^*) iz fotogrametrijskih podataka o boji tena, bjeloočnice i zuba prikazani su na Slici 42. Mreža je izrađena nasumičnim odabirom 56 ispitanika za trening i 16 ispitanika za testiranje (77,8 % / 22,2 % ispitanika u setovima podataka za trening / testiranje). Relativne pogreške predviđanja uživo izmjerenih parametara boje zuba pomoću fotogrametrijskih podataka iznosile su 38,9 % za parametar L^* , 38,2 % za parametar a^* i 65,7 % za parametar b^* . Prosječna relativna pogreška za sva tri parametra iznosila je 47,6 %. Najpreciznije predviđanje parametra L^* za uživo izmjerenu boju zuba u skladu je s prethodno prikazanim rezultatima regresijske analize koji su pokazali značajnost regresijskog modela jedino za parametar L^* , dok za parametre a^* i b^* nisu bili značajni. Sinaptičke težine neuronske mreže prikazane su u Tablici 22.

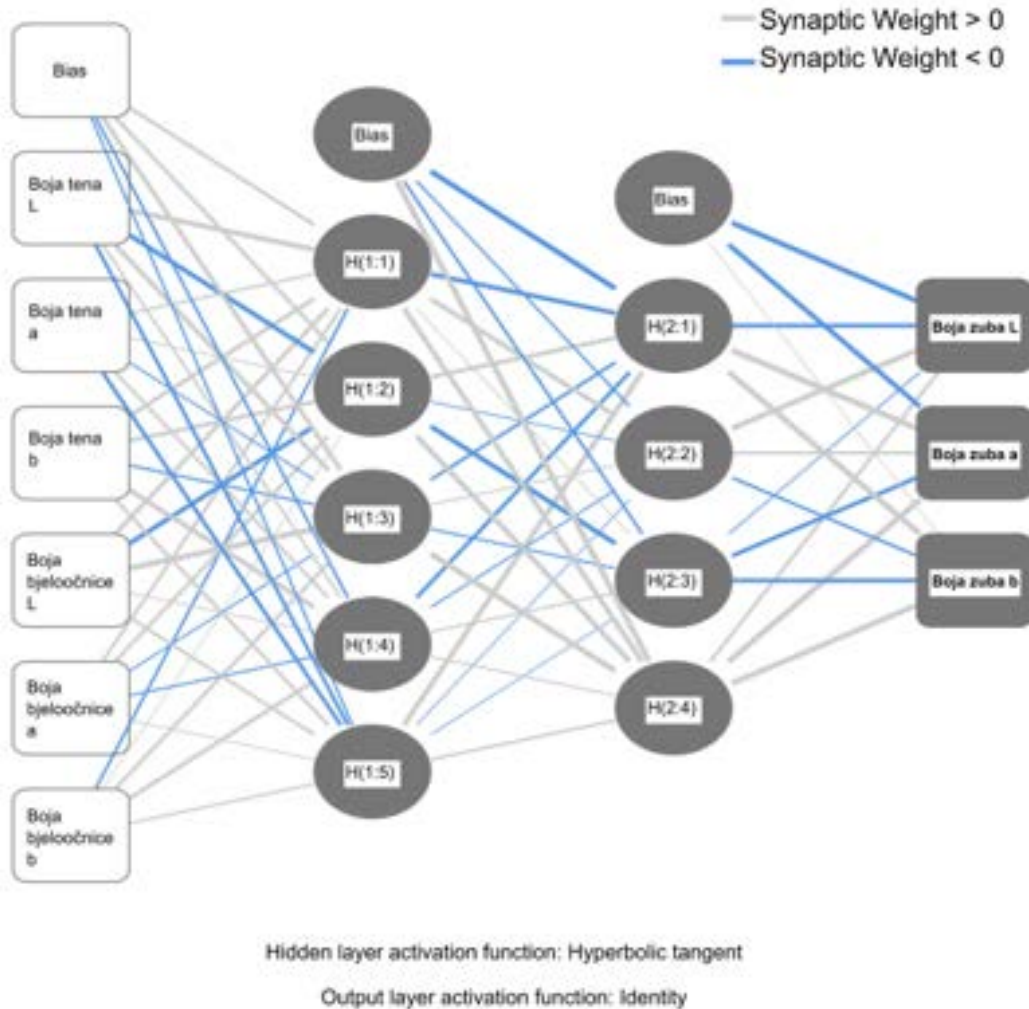


Slika 42. Arhitektura neuronske mreže s dva skrivena sloja namijenjene za predikciju uživo izmjerenih parametara boje zuba (L^* , a^* , b^*) iz fotogrametrijskih podataka o boji tena, bjeloočnice i zuba (sveukupno 9 prediktora). Sive linije prikazuju sinaptičke veze s težinama pozitivnog predznaka, a težine negativnog predznaka su označene plavim linijama. Fotogrametrijski podaci o boji tena, bjeloočnice i zuba u lijevom stupcu predstavljaju ulazni sloj, u srednja dva stupca se nalaze neuroni dvaju skrivenih slojeva, a u desnom stupcu se kao izlazne varijable nalaze parametri boje zuba izmjerene uživo.

Tablica 22. Sinaptičke težine neuronske mreže za predviđanje uživo izmjerenih parametara boje zuba (L^* , a^* , b^*) iz fotogrametrijskih podataka o boji tena, bjeloočnice i zuba.

Prediktor	Skriveni sloj 1				Skriveni sloj 2			Izlazni sloj		
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(2:1)	H(2:2)	H(2:3)	Boja zuba L (uživo)	Boja zuba a (uživo)	Boja zuba b (uživo)
Ulazni sloj	(Bias)	1,006	-0,156	-1,056	0,869					
	Boja tena L	-0,307	-0,290	-0,447	-0,147					
	Boja tena a	-0,337	0,091	-0,415	0,119					
	Boja tena b	0,086	-0,031	0,330	-0,209					
	Boja bjeloočnice L	-1,182	-0,103	-0,008	0,051					
	Boja bjeloočnice a	-0,069	0,493	-0,129	0,358					
	Boja bjeloočnice b	-0,214	1,181	0,528	0,066					
	Boja zuba L	-0,564	0,303	-0,133	0,064					
	Boja zuba a	-0,810	-0,282	-0,659	0,817					
	Boja zuba b	-1,244	-0,184	0,634	-0,339					
Skriveni sloj 1	(Bias)				-0,411	0,224	-0,142			
	H(1:1)				0,833	-0,341	1,298			
	H(1:2)				0,016	-0,324	0,272			
	H(1:3)				0,042	0,399	-1,221			
	H(1:4)				0,822	0,889	0,552			
Skriveni sloj 2	(Bias)							-0,201	0,970	1,072
	H(2:1)							-0,352	-0,673	-0,915
	H(2:2)							-1,510	0,858	0,221
	H(2:3)							1,329	-1,398	-1,034

Dodatna neuronska mreža modelirana je za predviđanje fotogrametrijski izmjerenih parametara boje zuba (L^* , a^* , b^*) iz ostalih fotogrametrijskih podataka (o boji tena i bjeloočnice). Arhitektura ove mreže prikazana je na Slici 43. Analogno prethodnom modelu, mreža je temeljena na nasumično odabranih 56 ispitanika za trening i preostalih 16 ispitanika za testiranje (77,8 % / 22,2 % u setovima podataka za trening / testiranje). Relativne pogreške predviđanja fotogrametrijskih izmjerenih parametara boje zuba pomoću fotogrametrijskih podataka tena i bjeloočnice iznosile su 5,0 % za parametar L^* , 7,4 % za parametar a^* i 12,2 % za parametar b^* . Prosječna relativna pogreška za sva tri parametra iznosila je 8,2 %. Sinaptičke težine neuronske mreže prikazane su u Tablici 23. Ovaj model je znatno uspješniji od prethodno opisanog modela za predikciju uživo izmjerene boje zuba iz fotogrametrijskih podataka.



Slika 43. Arhitektura neuronske mreže s dva skrivena sloja namijenjene za predikciju fotogrametrijski izmjerenih parametara boje zuba (L^* , a^* , b^*) iz fotogrametrijskih podataka o boji tena i bjeloočnice (sveukupno 6 prediktora). Sive linije prikazuju sinaptičke veze s težinama pozitivnog predznaka, a težine negativnog predznaka su označene plavim linijama. Fotogrametrijski podaci o boji tena i bjeloočnice u lijevom stupcu predstavljaju ulazni sloj, u srednja dva stupca se nalaze neuroni dvaju skrivenih slojeva, a u desnom stupcu se kao izlazne varijable nalaze parametri fotogrametrijskih izmjerene boje zuba.

Tablica 23. Sinaptičke težine neuronske mreže za predviđanje fotogrametrijski izmjerenih parametara boje zuba (L^* , a^* , b^*) iz fotogrametrijskih podataka o boji tena i bjeloočnice.

Prediktor	Skriveni sloj 1					Skriveni sloj 2				Izlazni sloj			
	H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	H(2:1)	H(2:2)	H(2:3)	H(2:4)	Boja zuba L	Boja zuba a	Boja zuba b	
Ulazni sloj	(Bias)	0,494	0,496	0,646	-0,308	-0,228							
	Boja tena L	0,852	-0,744	0,656	0,269	-0,475							
	Boja tena a	0,262	0,118	-0,141	0,351	-0,532							
	Boja tena b	0,561	0,548	-0,247	0,719	0,403							
	Boja bjeloočnice L	0,579	-0,676	1,232	0,111	0,379							
	Boja bjeloočnice a	0,381	0,473	-0,138	-0,201	0,110							
	Boja bjeloočnice b	-0,300	0,029	0,419	0,544	0,258							
Skriveni sloj 1	(Bias)						-1,172	-0,228	-0,327	1,612			
	H(1:1)						-0,671	0,720	0,109	0,861			
	H(1:2)						0,623	-0,111	-0,748	1,034			
	H(1:3)						-0,359	0,143	-0,223	1,297			
	H(1:4)						-0,529	-0,177	0,232	0,186			
	H(1:5)						0,985	-0,075	-0,046	0,342			
Skriveni sloj 2	(Bias)										-1,060	-0,803	0,029
	H(2:1)										-0,623	1,701	1,571
	H(2:2)										1,160	0,362	-0,318
	H(2:3)										-0,114	-0,596	-0,642
	H(2:4)										0,385	2,056	1,232

5. RASPRAVA

5.1. Karakteristike uzorka i metodološki pristup

Izbor studentske populacije za ovo istraživanje bio je metodološki opravdan iz nekoliko razloga. Studije koje uključuju studente omogućavaju formiranje homogenih uzoraka u pogledu dobi, što značajno reducira varijabilnost povezanu s dobnim promjenama mekih tkiva lica i dentalnih struktura (119,120). Esabish i sur. (2019) u svojoj studiji na kongoanskoj populaciji također su koristili studentski uzorak za fotogrametrijske analize facijalnog profila, naglašavajući prednosti homogenosti i dostupnosti takve populacije (119). Slično tome, Romsics i sur. (2021) u istraživanju preferencija facijalnog profila među dentalnim studentima pokazali su da studentske studije pružaju vrijedne uvide u percepciju dentalne estetike (120).

Dodatna prednost studentskih uzoraka u morfometrijskim istraživanjima jest činjenica da ispitanici u ovoj dobnoj skupini obično imaju potpunu prirodnu denticiju bez opsežnih restaurativnih ili protetskih radova koji bi mogli utjecati na mjerenja dimenzija zuba (121,122). Thakral i sur. (2022) u svom istraživanju također su naglasili važnost intaktne denticije za pouzdane morfometrijske analize (121). Nadalje, Mafla i sur. (2025) u recentnoj studiji pokazali su da akademska populacija pokazuje visoku razinu svijesti o vlastitom dentalnom i facijalnom izgledu, što ih čini idealnim ispitanicima za istraživanja estetske percepcije (122).

Što se tiče raspodjele po spolu, u našem uzorku žene su činile 66,7 % ispitanika, što je u skladu s općom rodnom distribucijom u dentalnoj medicini, gdje žene tradicionalno čine većinu studenata. Ova neravnoteža u rodnoj zastupljenosti nije predstavljala metodološku slabost jer da su sve analize uzimale u obzir spol kao varijablu, a cilj studije bio je utvrditi opće morfometrijske odnose, a ne spolno specifične razlike.

Analiza okluzijskih odnosa pokazala je da je 91,7% ispitanika imalo Angleovu klasu I, što predstavlja ortodontski povoljan uzorak s minimalnim okluzijskim nepravilnostima. Ovakva distribucija omogućila je analizu morfometrijskih odnosa u populaciji s normalnom okluzijom, čime se isključuje potencijalni utjecaj malokluzija na facijalne i dentalne proporcije.

5.2. Usporedba antropometrijske i fotogrametrijske metode

Usporedba antropometrijske i fotogrametrijske metode pokazala je različite razine pouzdanosti ovisno o vrsti mjerene dimenzije. Fotogrametrija je pokazala visoku pouzdanost u repliciranju antropometrijskih mjerenja za vertikalne facijalne dimenzije i proporcionalne dentalne parametre, dok su horizontalne dimenzije bile osjetljivije na metodološke varijacije. Posebno značajan nalaz jest da su proporcionalni parametri (omjeri širine i dužine) stabilniji i pouzdaniji između metoda nego apsolutne linearne dimenzije, što ima važne implikacije za kliničku primjenu fotogrametrije u estetskoj analizi. Analiza dijagrama raspršenja između antropometrijskih i fotogrametrijskih mjerenja otkrila je složene obrasce odstupanja, uključujući nelinearne pogreške kod određenih dimenzija.

Utvrđene normativne vrijednosti za mladu odraslu hrvatsku populaciju predstavljaju prvu takvu bazu podataka i čine znanstvenu osnovu za buduća istraživanja i kliničku primjenu u estetskoj, restaurativnoj i protetskoj dentalnoj medicini. U ovom istraživanju posebna je pozornost posvećena usporedbi direktne antropometrijske metode i indirektno fotogrametrijske metode, s ciljem sagledavanja njihove međusobne usklađenosti i ograničenja u kontekstu procjene utjecaja parametara oblika i dimenzija zuba, konkretno širine i dužine zuba, na parametre koji definiraju estetski zadovoljavajući izgled. Dobiveni rezultati omogućili su kritičku procjenu pouzdanosti fotogrametrijskog pristupa kao potencijalne alternative direktnim mjerenjima, osobito u istraživanjima estetskih obilježja lica. Analiza je pokazala da antropometrijska mjerenja za određene ključne udaljenosti, konkretno nasion – subnasale ($N - S_n$), širinu lica ($Z_y - Z_y$) te širinu gornjeg desnog središnjeg sjekutića ($11w$), daju statistički značajno veće vrijednosti u odnosu na one dobivene fotogrametrijom. Ova opažanja ukazuju na kompleksnu prirodu odnosa između dviju metoda, pri čemu razlike u apsolutnim vrijednostima ne isključuju visoku korelacijsku povezanost, što sugerira sustavne, ali predvidljive obrasce odstupanja.

Za vertikalne facijalne dimenzije ($N - S_n$, $S_n - G_n$, $N - G_n$) fotogrametrijska metoda pokazala je visoku razinu pouzdanosti i slaganja s antropometrijskim mjerenjima. Prosječna razlika između metoda za ove dimenzije bila je minimalna (0,5 – 1,2 mm), što je u skladu s nalazima Strajnića i sur. koji su pokazali da fotogrametrija može pouzdano replicirati antropometrijska mjerenja vertikalnih dimenzija lica (123). Dimenzija $S_n - G_n$ pokazala je gotovo idealnu podudarnost između dviju metoda, s medijanom od 6,30 cm za AM i 6,26 cm za PM mjerenja ($p=0,562$), što

ukazuje na minimalnu sistematsku pogrešku. Ovakav nalaz je u skladu s rezultatima Lima i sur., koji su izvijestili da fotogrametrija za određene vertikalne dimenzije, osobito one stabilne i lako definirane, može postići visoku točnost i pouzdanost u odnosu na izravna mjerenja (124).

Za ostale vertikalne mjere poput udaljenosti trichion – nasion (Tri-N), razlike između dviju metoda bile su znatno manje, ne prelazeći približno 3 % u korist antropometrije. Medijan Tri – N iznosio je 6,65 cm u AM i 6,38 cm u PM mjerenjima ($p=0,581$), što potvrđuje visoku usklađenost između metoda za ove dimenzije. Ovi nalazi dodatno potvrđuju tvrdnje Strajnića i sur., prema kojima su vertikalne mjere, osobito one koje uključuju stabilne mekotkivne i koštane referentne točke, znatno pouzdanije i reproducibilnije u fotogrametrijskim analizama (123). Veća apsolutna duljina ovih mjera smanjuje relativni utjecaj tehničkih devijacija i omogućuje precizniju identifikaciju točaka, čime se osigurava viša razina usklađenosti između ovih dviju mjernih metoda.

Korelacijska analiza dodatno je potvrdila ove nalaze, pokazujući najjače korelacije za vertikalne dimenzije lica: Tri – N ($r=0,698$, $p<0,001$) i Sn – Gn ($r=0,643$, $p<0,001$). Ovi rezultati sugeriraju da fotogrametrijska metoda može pouzdano replicirati antropometrijska mjerenja vertikalnih facijalnih proporcija. Izuzetak predstavlja udaljenost N – Sn, gdje je korelacija bila umjerenija, s koeficijentom $r=0,383$, što može reflektirati veću varijabilnost ili specifične izazove u preciznoj identifikaciji i mjerenju ove dimenzije pomoću fotogrametrije.

Nasuprot vertikalnim dimenzijama, za horizontalne dimenzije ($Zy - Zy$ – širina lica) fotogrametrijska metoda pokazala je tendenciju potezivanja u odnosu na direktna mjerenja, s prosječnom razlikom od 3,8 mm. Konkretno, najveće odstupanje u prosječnim vrijednostima zabilježeno je za udaljenosti N – Sn i $Zy - Zy$, pri čemu antropometrija u prosjeku daje oko 15 %, odnosno 7 % veće rezultate u odnosu na fotogrametriju. Medijan udaljenosti N – Sn iznosio je 5,50 cm u AM mjerenjima, dok je u PM mjerenjima iznosio 4,76 cm, uz statistički značajnu razliku ($p<0,001$). Slično tome, širina lica ($Zy - Zy$) pokazala je medijanske vrijednosti 12,00 cm (AM) i 11,39 cm (PM), također uz izrazito značajnu razliku ($p<0,001$). Za horizontalne dimenzije, korelacija je bila nešto niža ali još uvijek statistički značajna: $Zy-Zy$ ($R=0,608$, $p<0,001$), što se može pripisati tehničkim ograničenjima 2D fotogrametrije u reprodukciji horizontalnih dimenzija.

Ova diskrepanca može se objasniti zbog nekoliko faktora. Lim i sur. u svojoj studiji o pouzdanosti 2D fotogrametrije naglasili su da položaj glave i udaljenost od kamere mogu značajno utjecati na

horizontalne dimenzije zbog perspektivne distorzije (124). Fatima i sur. u komparativnoj studiji fotogrametrijskih, radiografskih i direktnih mjerenja također su pronašli da su horizontalne dimenzije najosjetljivije na metodološke varijacije (125). Rezultati ovog istraživanja potvrđuju ove nalaze i naglašavaju važnost standardizacije fotografskih protokola, posebno za horizontalne dimenzije. Takve rezultate možemo smatrati normalnima jer fotogrametrija nikad ne uključuje zakrivljenosti glave i lica kao parametre koje je moguće bilježiti ovom metodom.

Grafički prikazi relativnih razlika dodatno potvrđuju ove nalaze. Delta N – Sn pokazuje relativnu razliku koja se kreće oko +15-20 %, uz širok raspon odstupanja i prisutnost ekstremnih vrijednosti, što upućuje na visoku osjetljivost mjere na tehničke i biološke varijable. Delta Zy – Zy također pokazuje pozitivnu tendenciju (oko +5-10%), što ukazuje da AM mjerenja u prosjeku daju veće vrijednosti od PM mjerenja. Ove varijacije u skladu su s ranijim opažanjima Strajnića i sur., koji naglašavaju da je točka Nasion izrazito sklona intrapersonalnoj i interpersonalnoj varijabilnosti zbog njezine položajne nejasnoće i relativno male definiranosti u mekotkivnom profile (123). Autori dodatno upozoravaju da su širinske mjere lica posebno osjetljive na položajne devijacije glave, što se potvrđuje i u ovom istraživanju.

Analiza dobivenih dijagrama raspršenja zajedno s funkcijom $y=x$ u ovom istraživanju pokazala je složenu, ali jasno prepoznatljivu strukturu odstupanja između antropometrijskih i fotogrametrijskih mjerenja. Dimenzija Sn-Gn pokazala je gotovo idealnu podudarnost između dviju metoda, jer se korelacijski pravac nalazio vrlo blizu funkcije $y=x$, što upućuje na minimalnu sistematsku pogrešku. Nasuprot tome, u dimenzijama N-Sn i Zy-Zy uočen je konzistentan obrazac smještanja točaka ispod pravca $y=x$, što znači da fotogrametrija sustavno podcjenjuje horizontalne i određene srednje vertikalne mjere. Ovakav nalaz podudaran je s rezultatima Negija i Chitre, koji upravo za širinske mjere bilježe najveća odstupanja 2D fotogrametrije u odnosu na radiografska i antropometrijska mjerenja (126). Fatima i sur. također navode da su horizontalne mjere općenito najosjetljivije na devijacije zbog projekcijskih pogrešaka, što jasno korespondira s obrascem opaženim u ovom istraživanju (125).

Najzanimljiviji obrazac odstupanja pronađen je u dimenzijama u kojima se korelacijski pravac presijeca s funkcijom $y=x$, primjerice kod Tri-N te kod širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića. Takav oblik raspodjele označava da fotogrametrija precjenjuje vrijednosti u jednom dijelu mjernog raspona, dok ih u drugom dosljedno podcjenjuje. Ovakva pojava ukazuje na nelinearnu pogrešku

mjerenja, što je zanimljivo jer većina prethodnih istraživanja opisuje pogreške fotogrametrije kao uglavnom linearne (sustavno podcjenjivanje ili precjenjivanje), ali rijetko kao rasponski uvjetovane. Slična zapažanja mogu se indirektno iščitati iz radova Lima i sur. i Fatime i sur., gdje autori navode da promjene udaljenosti kamere, položaja glave ili kut snimanja neravnomjerno utječu na različite dijelove lica, stvarajući diferencijalne pogreške duž istog mjernog vektora (124,125).

Usporedba rezultata također ukazuje na to da dimenzije koje zahvaćaju središnju liniju lica (npr. Sn-Gn) generalno pokazuju bolje korelacijske vrijednosti u rezultatima ove disertacije, što se poklapa s nalazima Chandre i sur. koji navode da su vertikalne linije sredine lica stabilnije i dosljednije u mjerenjima različitim metodama (127). S druge strane, transverzalne dimenzije (Zy-Zy) ili dimenzije ovisne o zakrivljenim površinama (N-Sn) pokazuju slabiju pouzdanost, što je također široko potvrđeno u dosadašnjoj literaturi (124–126).

Što se tiče mjerenja dimenzija zuba, rezultati pokazuju da fotogrametrijska metoda pruža visoku razinu točnosti za omjere širine i dužine (WLR - engl. *width-to-length ratio*), dok apsolutne dimenzije mogu pokazivati manja odstupanja. Dužina krune gornjeg desnog središnjeg sjekutića (11h) pokazala je medijane 10,20 mm (AM) i 10,00 mm (PM), bez statistički značajne razlike ($p=0,149$). Širina krune (11w), iako statistički različita (8,45 mm AM naspram 8,05 mm PM; $p=0,001$), pokazuje vrlo visoku apsolutnu podudarnost između metoda, s razlikom manjom od 0,5 mm.

Ovi nalazi su u skladu sa zaključcima Esabisha i sur., koji navode da je fotogrametrija izrazito pouzdana metoda za procjenu dentalnih dimenzija, osobito uz adekvatnu standardizaciju položaja kamere i pacijenta (119). Dodatno, Lim i sur. ističu da fotogrametrija nadmašuje antropometriju u ponovljivosti upravo zbog eliminacije subjektivnih faktora vezanih uz manualni kontakt s tkivima, što se u ovoj disertaciji potvrđuje kroz ujednačenost dentoalveolarnih mjerenja (124).

U ovom istraživanju utvrđena je visoka korelacija antropometrijskih i fotogrametrijskih parametara za dužinu gornjeg središnjeg sjekutića 11h ($r=0,673$, $p<0,001$), međutim korelacija je za širinu istog zuba 11w bila slabija ($r=0,265$). Kod dentalnih dimenzija, posebice onih koje se odnose na gornje središnje sjekutiće, nalaz niskih do umjerenih korelacija i promjenjivih odstupanja posebno je u skladu s istraživanjima koja upozoravaju da su dentalni elementi osjetljivi na minimalne promjene

kuta snimanja i projekcijskog povećanja. Strajnić i sur. naglašavaju da određivanje širine prednjih zuba fotogrametrijskim putem može dati značajno drugačije vrijednosti od antropometrije, što se podudara s našim rezultatima gdje je širina gornjeg središnjeg sjekutića pokazala slabiju korelaciju (123). Slično, Muralidhar i sur. ističu da dentalni parametri često pokazuju nižu prediktivnu vrijednost upravo zbog individualnih varijacija i kompleksne topografije prednjih zuba (128).

Chandra i sur. u svojoj studiji o standardima facijalne estetike također su zaključili da su proporcionalne mjere pouzdanije od apsolutnih dimenzija u fotogrametrijskim analizama (127). Muralidhar i sur. proširili su ove nalaze pokazujući da cefalični i facijalni indeks koreliraju s dentalnim parametrima, što potvrđuje važnost proporcionalnih analiza (128). Ove razlike naglašavaju složenost preciznog mjerenja sitnih dentoalveolarnih struktura pomoću dvodimenzionalnih slika i ukazuju na potrebu za dodatnim optimizacijama fotogrametrijskih protokola u stomatološkim istraživanjima.

Omjer širine i dužine (WLR) prednjih zuba ključan je parametar u dentalnoj estetici. Analiza dobivenih rezultata pokazala je da fotogrametrijska metoda, unatoč brojnoj primjeni u suvremenim estetskim i antropometrijskim istraživanjima, i dalje pokazuje određene sustavne i nesustavne pogreške u usporedbi s izravnim antropometrijskim mjerenjima. Za dimenzije gornjeg desnog središnjeg sjekutića vrijednosti dobivene fotogrametrijom u prosjeku su bile niže od onih izmjerenih antropometrijski, što je vidljivo kroz pozitivan pomak (delta) varijabli. Ovakav nalaz ukazuje na tendenciju fotogrametrijske metode da podcjenjuje stvarne dimenzije, što je u skladu s ranijim radovima koji navode da 2D fotogrametrija može biti podložna iskrivljenjima ovisno o udaljenosti kamere, standardizaciji položaja glave i kvaliteti referentne skale (124,125).

Međutim, široki interkvartilni rasponi ukazuju na znatnu individualnu varijabilnost: u pojedinim slučajevima fotogrametrija je podcjenjivala dimenzije i do -16%, dok je u drugima precjenjivala i do +19%. Takvi rezultati sugeriraju da izvor varijabilnosti nije samo metoda, nego i anatomske karakteristike ispitanika, osvjetljenje, pozicioniranje i druge tehničke specifičnosti, što je istaknuto i u prethodnim radovima koji se bave pouzdanošću i točnošću 2D fotogrametrije, ponajviše sama zakrivljenost zuba zbog čega se širina zuba teže mjeri (125,126).

U svojoj recentnoj studiji Özdemir i Özdemir pronašli su slične vrijednosti za omjere širine i dužine (WLR) za središnje sjekutiće ($0,85 \pm 0,06$), što sugerira konzistentnost ovog parametra kroz različite populacije (129). Tsukiyama i sur. u svojoj studiji o faktorima koji utječu na dimenzije gornjih središnjih sjekutića također su pronašli slične vrijednosti i naglasili važnost WLR kao stabilnog estetskog parametra (130). U svom istraživanju Cooper i sur. pokazali su da WLR središnjeg sjekutića značajno utječe na percepciju estetike osmijeha (131). Oni su zaključili da omjeri između 0,80 i 0,90 smatraju se najatraktivnijim, što je u skladu s rezultatima ovog istraživanja. Pini i sur. proširili su ove nalaze analizirajući zlatnu proporciju i WLR u slučajevima ageneze lateralnih sjekutića, pokazujući da narušavanje prirodnih proporcija negativno utječe na estetsku percepciju (132).

Korelacijska analiza dodatno objašnjava odnos između fotogrametrijskih i antropometrijskih mjerenja. Za dužinu gornjeg središnjeg sjekutića dobivena je visoka korelacija ($r=0,673$; $p<0,001$), što ukazuje na relativno dobru sukladnost ove dimenzije između dviju metoda. Ovakav nalaz podudaran je s rezultatima prethodnih istraživanja koja navode da linearna vertikalna mjerenja, osobito na frontalnim fotografijama, pokazuju veću stabilnost i manju osjetljivost na projekcijske deformacije nego horizontalna mjerenja (124,126,127). Nasuprot tome, korelacija širine gornjeg središnjeg sjekutića bila je značajno slabija ($r=0,265$; $p=0,025$), što potvrđuje da horizontalne dimenzije u fotogrametriji nose veći rizik pogreške. Ovakav uzorak rezultata podudaran je s radovima koji istražuju omjere dužine i širine zuba te navode da je precizno određivanje širine posebno osjetljivo na minimalne promjene kuta snimanja i položaja kamere (129–132).

Kada ove rezultate promatramo u kontekstu radova o odnosu širine i dužine gornjih središnjih sjekutića te njihovih estetskih implikacija, uočljivo je da varijabilnost mjerenja može imati kliničke posljedice. Prethodne metaanalize pokazuju da se omjeri dužine i širine gornjih sjekutića značajno razlikuju među populacijama te da odstupanja u širini, čak i minimalna, mogu promijeniti estetsku percepciju osmijeha (129,130). Cooper i sur. naglašavaju da percepcija lijepog osmijeha ovisi o finim dentalnim proporcijama, pri čemu širina zuba igra važnu ulogu u vizualnom balansu (131). Stoga je slabija korelacija širine između antropometrije i fotogrametrije u ovom istraživanju dodatno relevantna iz estetske perspektive.

Analiza dijagrama raspršenja i pripadajućih pravaca korelacije između antropometrijskih i fotogrametrijskih vrijednosti omjera širine i dužine (WLR) zuba i lica, kao i omjera gornjeg

središnjeg sjekutića u odnosu na širinu i dužinu lica, pokazala je izrazitu pravilnost u obrascu odstupanja mjerenja dvjema metodama. Superpozicija korelacijskih pravaca i funkcije identiteta ($y=x$) omogućila je preciznu procjenu smjera i veličine odstupanja fotogrametrijskih vrijednosti u odnosu na referentne antropometrijske mjere.

U svim analiziranim omjerima opažen je specifičan obrazac: korelacijski pravac inicijalno se nalazi iznad pravca $y=x$, što ukazuje na precjenjivanje antropometrijskih vrijednosti fotogrametrijom, dok nakon točke sjecišta prelazi ispod funkcije $y=x$, što predstavlja podcjenjivanje stvarnih vrijednosti. Takav dvostrani obrazac odstupanja indicira da fotogrametrija nije linearno pristrana u jednom smjeru, već da su odstupanja ovisna o rasponu mjerenih vrijednosti.

Najviši koeficijenti korelacije utvrđeni su za omjer dužine gornjeg središnjeg sjekutića i visine cijelog lica ($r=0,726$) te za omjer dužine gornjeg središnjeg sjekutića i visine donje dvije trećine lica ($r=0,742$). Premda korelacija nije iznad 0,80, što bi se smatralo izrazito visokom, vrijednosti veće od 0,70 predstavljaju dobru razinu slaganja dviju metoda te upućuju na relativno stabilan odnos omjera u različitim modalitetima mjerenja. Usporedba koeficijenata korelacije dobivenih za omjere s onima dobivenim iz izvornih dimenzija (izraženih u milimetrima i centimetrima) pokazuje da su omjeri dosljednije reproducirani između metoda. Ovaj nalaz sugerira da fotogrametrijska metoda u kontekstu proporcionalnih analiza (WLR) može biti pouzdanija od izravnog uspoređivanja apsolutnih dimenzija. Ovo također sugerira da, iako apsolutne dimenzije mogu varirati između metoda, proporcionalni odnosi ostaju konzistentni, što ima važne kliničke implikacije jer omogućava pouzdanu primjenu fotogrametrijske analize u planiranju estetskih dentalnih tretmana gdje su proporcije često važnije od apsolutnih dimenzija.

Takav obrazac u skladu je sa zapažanjima Lima i sur., koji su utvrdili da je fotogrametrija manje podložna pogreškama kada se koriste relativni odnosi nego apsolutna mjerenja, odnosno da se proporcionalni parametri lica reproduciraju uz višu preciznost nego linearne dimenzije (124). Lim i sur. navode da kod 2D fotogrametrije najveće pogreške nastaju zbog perspektivne distorzije i nepreciznog položaja glave, što nerazmjerno utječe na linearne mjere, dok se omjeri pokazuju otpornijima na takve varijacije. Ovaj nalaz izravno potvrđuju i rezultati ovog istraživanja, gdje su korelacije omjera bile više od korelacija apsolutnih mjera.

Negi i Chitra također su pokazali da se fotogrametrijska mjerenja bolje usklađuju s antropometrijom kada se analiziraju indeksi i omjeri, pri čemu su pronašli korelacije srednjeg do visokog intenziteta (0,60 – 0,85) za proporcionalne odnose lica, u usporedbi s često slabijim korelacijama za pojedinačne linearne dimenzije (126). Takva analogija dodatno potvrđuje da relativne mjere predstavljaju stabilniji parametar za usporedbu dvije metodološki različite mjerne tehnike. U istraživanju Fatime i sur. prikazani su rezultati koji dokazuju da su omjeri i indeksi lica pokazali višu pouzdanost i višu preciznost u usporedbi fotogrametrije s antropometrijom nego apsolutne linearne vrijednosti (125). Autori naglašavaju kako su razlike između metoda statistički značajno niže za proporcionalne analize, što je potpuno u skladu s rezultatima ovog istraživanja.

Slična metodološka opažanja opisuju i istraživanja usmjerena na opće antropometrijske indekse lica, kao što su radovi Chandre i sur. te Muralidhara i sur. (127,128). Premda nisu izravno usmjerena na usporedbu fotogrametrije i antropometrije, obje studije potvrđuju da su upravo indeksi i omjeri lica stabilniji i manje podložni individualnim varijacijama položaja i blage rotacije glave, u usporedbi s linearnim dimenzijama. Zanimljivo je primijetiti da se i u drugim istraživanjima, poput rada Strajnića i sur., omjeri i proporcionalni odnosi (primjerice odnosi širine sjekutića i širine usnica ili lica) pokazuju kao pouzdaniji i klinički primjenjiviji parametri od apsolutne širine ili dužine zuba (123). Premda njihovo istraživanje ne uspoređuje metode mjerenja, ono iz kliničke perspektive potvrđuje važnost analize omjera u dentalnoj i facijalnoj dijagnostici, što se metodološki podudara s rezultatom ovog istraživanja.

Strajnić i sur. u svojoj najnovijoj studiji dodatno su potvrdili da omjeri facijalnih dimenzija mogu poslužiti kao pouzdani prediktori vertikalne dimenzije okluzije, pri čemu je fotogrametrija pokazala usporedivu točnost s direktnom antropometrijom (133). Ovaj nalaz dodatno podupire tezu ovog istraživanja o superiornosti proporcionalnih parametara u fotogrametrijskim analizama.

Linearna regresijska analiza za omjer širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (11 WLR - engl. *width-to-length ratio*) s dimenzijama lica kao prediktorima nije dala značajan rezultat. Regresija nije bila statistički značajna ni za antropometrijske podatke ($p=0,876$), niti za fotogrametrijske podatke ($p=0,519$). Linearna regresijska analiza omjera i izvornih dimenzija (s obzirom na to da omjer predstavlja funkciju dviju varijabli, dok su prediktori izvorne varijable) korištena je na eksploratornoj razini, s ciljem ispitivanja postoji li potencijalna povezanost, a ne međuzavisnost

samih varijabli. Varijabla 11 WLR odabrana je kao ishodna jer je estetski relevantna i može predstavljati konačni produkt koji se može pokušati predvidjeti iz pojedinačnih dimenzija lica.

Kada analiziramo linearnu regresijsku analizu za širinu i dužinu gornjeg središnjeg sjekutića s antropometrijski izmjerenim dimenzijama lica kao prediktorima zaključuje se da ista nije dala značajan rezultat. No u linearnoj regresijskoj analizi fotogrametrijskih podataka dimenzije N – Sn te Sn – Gn pokazale su se kao statistički značajan prediktor dužine gornjeg središnjeg sjekutića ($p=0,043$ i $p=0,007$). Također se pokazalo da su dimenzije Sn – Gn ($p=0,025$) i bipupilarna udaljenost ($p=0,017$) izmjerene fotogrametrijski značajan prediktor širine gornjeg središnjeg sjekutića. Ovi nalazi sugeriraju da, iako ne postoji jaka prediktivna veza između facijalnih dimenzija i omjera zuba, određene vertikalne facijalne dimenzije mogu biti u blagoj korelaciji s apsolutnim dentalnim dimenzijama, što otvara mogućnosti za daljnja istraživanja u ovom području.

Ovakve razlike mogu se objasniti specifičnostima same metode mjerenja. Dok antropometrija, kao metoda izravnog kontakta s mekotkivnim i koštanim strukturama, može biti podložna određenim varijabilnostima uslijed mehaničkog pritiska i položaja instrumenta, fotogrametrija se oslanja na analizu standardiziranih dvodimenzionalnih slika, gdje faktori poput osvjetljenja, položaja glave i napetosti mekotkivnih struktura mogu blago utjecati na mjerenja, što rezultira određenim precjenjivanjem ili podcjenjivanjem stvarnih dimenzija kod pojedinih ispitanika. S druge strane, Jayaratne i Zwahlen naglašavaju da antropometrija zadržava važnu ulogu u kliničkom radu zbog neposredne interakcije s pacijentom, ali upozoravaju da subjektivnost palpacijske identifikacije točaka može pridonijeti varijabilnosti podataka (134). U ovoj disertaciji ta se varijabilnost očituje upravo u horizontalnim i kraćim mjerama (N – Sn, Zy – Zy), gdje antropometrijske i fotogrametrijske metode pokazuju najveća odstupanja. Negi i Chitra u svojoj studiji o fotogrametrijskoj pouzdanosti frontalne fotografije lica zaključili su da, unatoč određenim ograničenjima, fotogrametrija predstavlja validan alat za analizu facijalnih proporcija kada se primjenjuju stroge standardizacijske procedure (126). U ovom istraživanju primijenjeni su strogi protokoli standardizacije uključujući fiksnu udaljenost snimanja (1,5 metar) te kontrolu osvjetljenja i pozicioniranje ispitanika.

Analiza percentilne distribucije dodatno potvrđuje konzistentnost većine fotogrametrijskih mjerenja, pri čemu su vrijednosti za Tri – N, Sn – Gn, 11h i 11w gotovo identične antropometrijskim mjerenjima u svim percentilima. Veće varijabilnosti zamijećene su kod

bipupilarne udaljenosti i udaljenosti između komisura (cmD – cmL), što je očekivano s obzirom na pokretljivost i mišićnu dinamiku mekotrečnih struktura usana i periorbitalne regije.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju kombinaciju obrazaca koji su već prepoznati u literaturi (sustavno podcjenjivanje horizontalnih mjera, veća točnost vertikalnih mjera), ali i dodatni složeni element – nelinearnost pogrešaka kod nekih dimenzija, što proširuje postojeća zapažanja o ograničenjima 2D fotogrametrije. Time ova analiza potvrđuje nalaze prethodnih istraživanja, ali ih istodobno nadopunjuje novim uvidima u način na koji pogreške variraju duž različitih dijelova mjernog raspona.

Sveukupno, rezultati jasno pokazuju da fotogrametrija predstavlja pouzdanu, visokopreciznu i reproducibilnu metodu za procjenu facijalnih i dentoalveolarnih parametara, s vrlo malim odstupanjima u odnosu na zlatni standard – antropometriju. Najveći stupanj usklađenosti zabilježen je kod vertikalnih facijalnih mjera i dentalnih dimenzija, dok su horizontalne i kraće mjere osjetljivije na položajne devijacije i anatomske varijacije. Ovi nalazi u potpunosti su u skladu s recentnim istraživanjima (119,124,125,128) te potvrđuju da integracija fotogrametrijskih i antropometrijskih metoda može značajno unaprijediti kliničku dijagnostiku, planiranje terapije i objektivizaciju estetskih i funkcionalnih analiza u stomatološkoj praksi, osobito u ortodonciji, oralnoj rehabilitaciji i estetskoj medicini.

Uzimajući sve navedeno u obzir, može se zaključiti da su rezultati ovog istraživanja u potpunosti u skladu s nalazima iz dostupne literature: omjeri kao proporcionalni parametri pokazuju višu metodološku stabilnost i reproducibilnost između fotogrametrije i antropometrije nego izvorne linearne dimenzije. Koeficijenti korelacije u ovom istraživanju ($r=0,726$ i $r=0,742$) nalaze se unutar raspona prijavljenih u ranijim istraživanjima, čime se potvrđuje da je 2D fotogrametrija, kada se koristi za proporcionalnu analizu, metodološki pouzdana i primjenjiva alternativa antropometriji.

S obzirom na to da se fotogrametrija sve češće koristi kao neinvazivan, dostupan i brz alat u estetskoj stomatologiji, ortodonciji i antropologiji, razumijevanje njezinih ograničenja nužno je za njezinu pravilnu kliničku primjenu. Rezultati ovog istraživanja u skladu su s nalazima ranijih radova koji ukazuju da fotogrametrija može biti pouzdana, ali samo uz strogu standardizaciju i verificirane referentne točke (124–126). U suprotnom, pogreške u mjerenju, osobito horizontalnih dimenzija, mogu dovesti do pogrešnih interpretacija dentalnih proporcija i narušiti preciznost

estetske analize. Ukupno, kombinacija visoke korelacije za dužinu i niske za širinu potvrđuje da fotogrametriju treba koristiti s oprezom, kao dopunu, a ne zamjenu za izravna mjerenja kada se zahtijeva visoka razina točnosti.

Jedan od inovativnih aspekata ove studije bio je pokušaj primjene umjetne neuronske mreže (ANN) za predikciju WLR zuba na temelju facijalnih dimenzija. Arhitektura neuronske mreže korištena za predikciju omjera širine i dužine gornjeg središnjeg sjekutića (WLR 11) iz antropometrijskih i fotogrametrijskih mjera lica predstavljala je jednostavan model s jednim skrivenim slojem i ograničenim brojem neurona. Neuronska mreža bila je trenirana na 70 % uzorka (50 ispitanika), validirana na 15 % (11 ispitanika), i testirana na preostalim 15 % (11 ispitanika).

Rezultati su pokazali da model nije uspio pouzdano predvidjeti WLR centralnih sjekutića iz facijalnih dimenzija. Prosječna apsolutna pogreška (MAE) bila je 0,0621, što predstavlja relativnu pogrešku od 92,4 % u odnosu na prosječni WLR za antropometrijski dobiven WLR 11 i 89,7 % za fotogrametrijski WLR 11. Koeficijent determinacije (R^2) bio je iznimno nizak (0,089), što ukazuje da model objašnjava manje od 10 % varijance u WLR.

Unatoč tome, očekivalo se da će određeni obrasci proporcija između dimenzija lica i zuba biti dovoljno konzistentni da barem djelomično omoguće prediktivnu rekonstrukciju dentalnih dimenzija iz facijalnih mjera. Međutim, dobiveni rezultati ukazuju na suprotno. Relativne pogreške predikcije bile su izrazito visoke, što ukazuje na gotovo potpunu nemogućnost neuronske mreže da iz ulaznih dimenzija lica izluči informacijsku strukturu potrebnu za pouzdanu procjenu WLR 11.

Ovi rezultati sugeriraju da ne postoji jaka prediktivna veza između facijalnih dimenzija i proporcija zuba, što je u skladu s nekim nalazima iz literature. Iako koncepti poput zlatne proporcije i facijalne harmonije sugeriraju da bi određeni odnosi mogli postojati, empirijski dokazi za jake korelacije između facijalnih i dentalnih proporcija su ograničeni.

Ovakav ishod ima nekoliko važnih implikacija za razumijevanje odnosa facijalnih i dentalnih proporcija. Prvo, visoka pogreška predikcije potvrđuje da dimenzije lica i omjer WLR 11 nisu linearno ni nelinearno dovoljno povezani da bi se dentalni omjer mogao pouzdano predvidjeti samo na temelju facijalnih parametara. To je u skladu s rezultatima ovog istraživanja koji pokazuju da ne postoji statistički značajna korelacija između WLR omjera gornjeg središnjeg sjekutića i WLR

omjera cijelog lica ili donje dvije trećine lica. Takav nedostatak povezanosti na razini klasične statistike neminovno ograničava i mogućnosti neuronskih modela da uspješno apstrahiraju prediktivne obrasce.

Drugo, činjenica da su pogreške gotovo identične za antropometrijsku i fotogrametrijsku verziju mreže potvrđuje da problem nije u kvaliteti mjerenja, već u samoj prirodi odnosa između ulaznih i izlaznih varijabli. Time se dodatno potvrđuje nalaz iz ranijih poglavlja da proporcije zuba nisu u dosljednoj relaciji s proporcijama lica, što je ranije uočeno i u međunarodnoj literaturi.

Primjena umjetne inteligencije u dentalnoj medicini brzo se razvija. Khanagar i sur. (2022) demonstrirali su korisnost AI u detekciji ortodontskih anomalija (135). Međutim, ove aplikacije obično koriste direktne dentalne podatke ili radiografske snimke, a ne pokušavaju predvidjeti dentalne karakteristike iz facijalnih dimenzija.

U usporedbi s recentnim istraživanjima koja su primjenjivala neuronske mreže u dentalnoj medicini, ovakvi rezultati nisu neočekivani. Nekoliko studija navodi da su umjetne neuronske mreže uspješne u predikciji dentalnih parametara samo kada je izvorna varijabilnost strukturalno povezana s ulaznim podacima. Primjerice, modeli za predikciju ortodontskih anomalija iz kefalometrije (135), gdje je potvrđena jaka linearna i nelinearna povezanost.

Nasuprot tome, istraživanja koja su pokušala predvidjeti dentalne dimenzije iz facijalnih proporcija uglavnom su pokazivala niske performanse predikcije. Parciak et. al (2017) (136) pokazali su da facijalne dimenzije ne mogu predvidjeti širinu ili oblik gornjih sjekutića, te da izbor morfologije zuba zahtijeva izravna intraoralna mjerenja, a ne ekstrapolaciju iz facijalnih proporcija. Hasanreisoglu i sur. (2019) zaključuju da odnosi između lica i zuba nisu dovoljno deterministički niti pri korištenju sofisticiranih AI modela (16). S druge strane, Barman i Serin (2018) zaključuju da postoji pozitivna korelacija između interpupilarne udaljenosti i širine centralnog maksilarnog inciziva (137).

Činjenica da je neuronska mreža u ovom istraživanju prikazala izrazito niske performanse stoga je vrijedna potvrda dosadašnjih antropometrijskih i estetskih spoznaja: dimenzije lica nisu prikladan prediktor dentalnih proporcija, a posebno ne WLR omjera gornjeg središnjeg sjekutića. Ovi

rezultati dodatno potkrepljuju i nalaze istraživanja iz ranijih poglavlja rada, gdje nije dokazano postojanje korelacije između dentalnih i facijalnih indeksa.

Neuspjeh ovog modela može se objasniti nekoliko faktora. Prvo, dentalni razvoj i facijalni razvoj, iako koordinirani, kontrolirani su različitim genetskim i epigenetskim faktorima. Drugo, veličina uzorka ($n=72$) može biti nedovoljna za treniranje robusne neuronske mreže, posebno s obzirom na kompleksnost odnosa između višedimenzionalnih facijalnih i dentalnih parametara. Treće, moguće je da linearne dimenzije lica nisu optimalni prediktori dentalnih proporcija, te da bi volumetrijski ili konturni parametri mogli pružiti bolje rezultate.

Važno je naglasiti da relativno jednostavna arhitektura mreže (jedan skriveni sloj) nije jedini niti primarni razlog slabih rezultata. Premda bi složeniji modeli (npr. duboke mreže ili konvolucijski modeli) mogli potencijalno ostvariti nešto bolju aproksimaciju, temeljni problem ostaje isti: nedostatak objektivno prisutne, biološki realne veze između varijabli. U kontekstu dentalne estetike to znači da se formiranje dentalne proporcije odvija individualno i neovisno o proporcijama lica, čime se potvrđuje važnost izravnog mjerenja i individualizirane protetske i estetske rehabilitacije.

Ovi nalazi imaju važne kliničke implikacije. Oni sugeriraju da individualizirani pristup u dentalnoj estetici ne može se osloniti isključivo na facijalne proporcije, već mora uzeti u obzir direktne dentalne parametre svakog pacijenta. Ovo naglašava važnost detaljne dentalne analize i individualiziranog planiranja tretmana.

Rezultati istraživanja u ovoj disertaciji pokazali su izraženu asimetriju u smjeru disproporcije gornje i donje čeljusti. Za indeks disproporcije gornje čeljusti uočena je prosječna vrijednost od +9,3 %, s medijanom od 9,84 %, što upućuje na prevladavajuću pozitivnu disproporciju gornje čeljusti u ispitivanom uzorku. Percentilna analiza dodatno je potvrdila ovaj nalaz, pokazujući da samo peta percentila ima negativnu vrijednost, dok su sve više percentile pozitivne. Ovakva distribucija sugerira sustavnu tendenciju povećane proporcionalne zastupljenosti gornje čeljusti u odnosu na referentne morfološke vrijednosti kod mlade odrasle hrvatske populacije.

Suprotno tome, indeks disproporcije donje čeljusti pokazao je prosječnu vrijednost od -2,9 %, s medijanom od -2,63 %, što ukazuje na blagu, ali prevladavajuću negativnu disproporciju donje čeljusti. Percentilna analiza potvrdila je ovakav trend, pri čemu su niže percentile izraženo

negativne, dok pozitivne vrijednosti indeksa donje čeljusti dosežu relativno ograničen raspon. Raspon negativnih vrijednosti bio je više nego dvostruko širi (do -18,9 %) u odnosu na raspon pozitivnih vrijednosti (do +8,4 %).

Analiza dijagrama raspršenja pokazala je da najveći broj ispitanika ima kombinaciju pozitivne disproporcije gornje čeljusti i negativne disproporcije donje čeljusti. Međutim, nije uočen jasan obrazac koji bi upućivao na međusobnu povezanost ovih dviju varijabli. Izostanak linearnog trenda potvrđuje da indeksi disproporcije gornje i donje čeljusti ne pokazuju značajnu međusobnu korelaciju, što sugerira da se disproporcije gornje i donje čeljusti razvijaju relativno neovisno jedna o drugoj.

Korelacijska analiza dodatno je razjasnila odnose između indeksa disproporcije i pojedinih antropometrijskih i fotogrametrijskih dimenzija. Indeks disproporcije gornje čeljusti pokazao je statistički značajne korelacije s antropometrijskim dimenzijama Tri – N, N – Sn i Sn – Gn, dok su kod fotogrametrijskih mjerenja značajne korelacije utvrđene za dimenzije Tri – N i N – Sn, ali ne i za Sn – Gn. Negativna korelacija s dimenzijom N – Sn upućuje na povezanost veće disproporcije gornje čeljusti s manjom visinom srednje trećine lica, dok pozitivne korelacije s dimenzijama Tri – N i Sn – Gn sugeriraju da se veće vrijednosti indeksa disproporcije gornje čeljusti povezuju s većom ukupnom visinom lica i većom visinom donje trećine lica.

Za indeks disproporcije donje čeljusti utvrđene su značajne korelacije u antropometrijskim i fotogrametrijskim mjerenjima za dimenzije Tri – N i Sn – Gn. Pozitivna korelacija s dimenzijom Tri – N i negativna korelacija s dimenzijom Sn – Gn upućuju na složen odnos disproporcije donje čeljusti s vertikalnim dimenzijama lica. Ovi rezultati sugeriraju da izraženija negativna disproporcija donje čeljusti može biti povezana s većom ukupnom visinom lica, ali istodobno s manjom relativnom visinom donje trećine lica. Važno je istaknuti da dimenzije širine lica te dimenzije gornjeg središnjeg sjekutića nisu pokazale statistički značajne korelacije s indeksima disproporcije, što upućuje na to da dentalne dimenzije i transverzalne dimenzije lica nemaju izravnu ulogu u varijacijama indeksa disproporcije čeljusti, barem u okviru promatranog uzorka i primijenjene metodologije.

Singh i suradnici (138) istraživali su vertikalne proporcije lica kao vodič za određivanje vertikalne dimenzije u protetskoj rehabilitaciji. Njihovi nalazi naglasili su važnost vertikalnih proporcija u

estetskoj i funkcionalnoj rehabilitaciji te utvrdili značajne varijacije u vertikalnim proporcijama među različitim populacijama.

Mizumoto i suradnici (139) analizirali su facijalne proporcije kod mlade populacije i utvrdili odstupanja od zlatnih proporcija u različitim dijelovima lica. Zaključili su da populacijske varijacije zahtijevaju specifične normativne podatke za svaku populaciju. Slično kao u japanskoj populaciji, hrvatska populacija u ovom istraživanju pokazuje specifične obrasce proporcija. Nalazi pozitivne disproporcije gornje čeljusti u ovom istraživanju (+9,3 %) mogu se usporediti s njihovim nalazima o varijacijama u gornjoj trećini lica, što dodatno potvrđuje potrebu za populacijski specifičnim normativnim podacima.

Utjecaj anteroposteriornih disproporcija čeljusti na govor kod pacijenata s dentofacijalnom disharmonijom istraživali su Oliver i suradnici (140). Utvrdili su da značajne disproporcije mogu utjecati na funkciju te naglasili važnost objektivnog mjerenja disproporcija. Dok je njihovo istraživanje fokusirano na anteroposteriornu dimenziju, ovo istraživanje dopunjuje njihove nalaze pokazujući da disproporcije postoje i u vertikalnoj dimenziji. Metodologija u ovom disertaciji omogućava kvantifikaciju vertikalnih disproporcija slično kao što oni kvantificiraju anteroposteriorne, što proširuje razumijevanje trodimenzionalne prirode facijalnih disproporcija.

U istraživanju koje su proveli Tabrizi i suradnici (141) analizirali su pacijente s povećanom vertikalnom dimenzijom gornje čeljusti nakon ortognatske kirurgije i utvrdili da ista zahtijeva kirurško liječenje. Naglasili su važnost preoperativne procjene vertikalnih proporcija. Rezultati ovog istraživanja pokazali su pozitivne disproporcije gornje čeljusti (+9,3 %) u skladu su s njihovim opažanjima o povećanoj vertikalnoj dimenziji, pri čemu metodologija u ovoj disertaciji može služiti kao alat za preoperativnu procjenu. Podaci iz ovog istraživanja pružaju normativne vrijednosti za usporedbu s patološkim stanjima, što je od ključne važnosti za razlikovanje normalnih varijacija od patoloških odstupanja koja zahtijevaju terapijsku intervenciju.

Nalazi ovog istraživanja potvrđuju važnost analize vertikalnih proporcija, pri čemu ova metodologija indeksa disproporcije pruža kvantitativnu mjeru odstupanja od idealnih proporcija. Rezultati ovog istraživanja također proširuju njihove nalaze pokazujući specifične obrasce disproporcija za hrvatsku populaciju, što je u skladu s njihovim zaključkom o potrebi za populacijski-specifičnim normativnim podacima.

Kliničke implikacije ovih nalaza su višestruke. U ortodonciji, indeks disproporcije može pomoći u odluci o potrebi za vertikalnom korekcijom čeljusti, omogućavajući preciznije planiranje tretmana i realnije predviđanje ishoda. U protetici ovaj parametar pomaže u određivanju idealne vertikalne dimenzije okluzije kod pacijenata koji zahtijevaju protetsku rehabilitaciju, čime se osigurava ne samo funkcionalna već i estetska harmonija. U estetskoj stomatologiji, indeks disproporcije omogućava objektivnu procjenu vertikalne harmonije prije estetskih zahvata, što je posebno važno u planiranju kompleksnih estetskih rehabilitacija. U maksilofacijalnoj kirurgiji, ovaj parametar pruža kvantitativnu osnovu za planiranje ortognatskih kirurških zahvata, omogućavajući preciznije određivanje potrebnih korekcija.

Važno je naglasiti da rezultati ovog istraživanja pokazuju obrasce karakteristične za mladu odraslu hrvatsku populaciju s predominantno klasom I po Angleu. Generalizacija ovih nalaza na širu populaciju zahtijeva oprez, posebno kod osoba različitih dobnih skupina ili s malokluzijama. Buduća istraživanja trebala bi uključiti veće uzorke, različite dobne skupine i različite okluzijske kategorije kako bi se utvrdilo mijenjaju li se obrasci disproporcija s dobi i okluzijom. Također bi bilo korisno istražiti povezanost indeksa disproporcije s funkcionalnim parametrima poput žvakanja, gutanja i govora, kao i s estetskom percepcijom. Longitudinalne studije mogle bi pružiti uvid u stabilnost ovih parametara tijekom vremena i njihovu promjenu kao odgovor na ortodontske ili kirurške intervencije.

5.3. Analiza boje zuba, tena i bjeloočnice: kolorimetrijski nalazi

Analiza boje zuba u ovom istraživanju provedena je korištenjem digitalne fotogrametrije s naknadnom kolorimetrijskom analizom u CIELAB prostoru boja. Ova metoda omogućava objektivnu kvantifikaciju boje, za razliku od tradicionalne vizualne metode koja je subjektivna i ovisi o iskustvu kliničara, uvjetima osvjetljenja i individualnoj percepciji boja. Philippi i sur. u svojoj studiji usporedili su kliničko određivanje boje zuba fotoklorimetrijom i spektrofotometrijom, zaključivši da digitalna fotogrametrija može pružiti pouzdane rezultate kada se primjenjuju standardizirani protokoli (31). Hina i sur. dodatno su potvrdili da standardizirane digitalne fotografije mogu postići točnost usporedivu sa spektrofotometrom u određivanju nijanse zuba (142).

Durmaz Yilmaz i sur. u svojoj evaluaciji različitih metoda mjerenja boje zuba pokazali su da je CIELAB sustav najpouzdaniji za kvantifikaciju boje zuba i omogućava precizne usporedbe između različitih studija (143). U znanstvenom radu proizašlom iz rezultata ove disertacije, Delija Omazić i sur. u hrvatskoj studiji naglašena je važnost kalibracije digitalne fotografije za precizno mjerenje nijanse zuba (27). U ovom istraživanju primijenjeni su strogi protokoli kalibracije, uključujući korištenje ColorChecker Passport standardne kartice za korekciju i standardizaciju boje te kontrolu ekspozicije, čime je osigurana visoka razina standardizacije i reproducibilnosti mjerenja.

Bezerra i sur. pokazali su da digitalna fotoklorimetrijska analiza može pouzdano detektirati čak i male promjene u boji zuba, što je važno za praćenje učinkovitosti estetskih tretmana (144). Ova osjetljivost metode omogućila je preciznu analizu odnosa između boje zuba i okolnih facijalnih struktura u ovoj disertaciji, što predstavlja ključnu prednost u odnosu na subjektivne vizualne metode.

U ovom istraživanju, prosječne vrijednosti boje gornjeg desnog središnjeg sjekutića bile su: $L^*=78,32\pm 4,21$, $a^*=2,14\pm 1,32$, $b^*=18,76\pm 3,45$. Ove vrijednosti ukazuju na relativno svijetlu boju zuba (visok L^*) s blagom crvenkastom (pozitivan a^*) i žućkastom (pozitivan b^*) komponentom, što je tipično za prirodne zube mlade odrasle populacije. Standardna devijacija parametra L^* iznosila je 4,21, što predstavlja značajnu varijabilnost unutar uzorka i naglašava važnost individualiziranog pristupa u izboru boje protetskih nadomjestaka te nemogućnost primjene univerzalnih standarda.

Histogrami za fotogrametrijske podatke o boji tena, bjeloočnice i zuba prikazani su u obliku vrijednosti koordinata L^* , a^* i b^* u prostoru boja CIELAB, a distribucije istih varijabli dodatno su opisane pomoću percentila. Podaci su za većinu varijabli značajno odstupali od normalne distribucije, pri čemu su samo vrijednosti a^* i b^* za boju tena bile približno normalno distribuirane, što je prikazano Gaussovom krivuljom superponiranom preko histograma. Ovo odstupanje od normalne distribucije sugerira heterogenost uzorka u pogledu kolorimetrijskih parametara i potvrđuje potrebu za primjenom neparametrijskih statističkih metoda u dijelu analize.

Ghinea i sur. u svojoj prospektivnoj kliničkoj studiji analizirali su raspon i distribuciju boja ljudskih zuba te utvrdili značajnu varijabilnost unutar populacije, što je u skladu s rezultatima u ovoj disertaciji (55). Njihova studija dodatno potvrđuje da univerzalni standardi boje nisu primjenjivi na sve pacijente te da individualni pristup mora biti temelj estetske dentalne medicine.

U ovom istraživanju analiza pouzdanosti mjerenja pokazala je prisutnost odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri ponavljanja mjerenja od prosječne vrijednosti za parametre boje L^* , a^* i b^* . Kod varijable BB a^* parametra (boja bjeloočnice, parametar a^*) opažena su ekstremna odstupanja pojedinačnih mjerenja od preko 1.250 %, dok su za sve ostale varijable razlike bile dva do tri reda veličine manje. Općenito, mjerenja parametra boje L^* bila su najpouzdanija, s medijalnim odstupanjem pojedinih mjerenja od srednje vrijednosti od 0,46 do 1,49%. Mjerenja parametara a^* i b^* bila su znatno nepouzdanija od parametra L^* , uz medijalna odstupanja pojedinih mjerenja od srednje vrijednosti od 4,53 do 49,50%.

Mjerenja parametara bjeloočnice BB a^* i BB b^* parametra (boja bjeloočnice, parametar b^*) bila su općenito najmanje pouzdana, uz medijalna odstupanja pojedinih mjerenja od srednje vrijednosti od 49,50 % i 22,54 %. Za ova dva parametra također su opažene ekstremne odstupajuće vrijednosti do preko 1.250 %. Kod svih parametara (L^* , a^* , b^*), mjerenja na bjeloočnici bila su općenito manje pouzdana od mjerenja na koži i zubu. Ova niža pouzdanost mjerenja bjeloočnice može se objasniti manjom površinom mjernog područja, većom osjetljivošću na osvjetljenje i potencijalnim utjecajem vaskularizacije na trenutačnu boju bjeloočnice.

Paravina i sur. definirali su prihvatljive i perceptibilne pragove razlika u boji (ΔE) u stomatologiji (48). Prema njihovim nalazima, razlika u boji (ΔE) manja od 1,2 jedinice je imperceptibilna za ljudsko oko, razlika između 1,2 i 2,7 je perceptibilna, ali prihvatljiva, dok razlike veće od 2,7

smatraju se neprihvatljivim. Ovi pragovi su važni za kliničku interpretaciju kolorimetrijskih podataka i procjenu potrebe za korekcijom boje. U kontekstu nalaza ovog istraživanja, viša pouzdanost parametra L^* u odnosu na parametre a^* i b^* dodatno naglašava važnost ovog parametra u kliničkoj praksi jer je upravo svjetlina najperceptibilnija komponenta boje za ljudsko oko.

Analiza odstupanja vrijednosti dobivenih kroz tri ponavljanja od prosječne vrijednosti za parametre boje zuba L^* , a^* i b^* pokazala je statistički značajne razlike između fotogrametrijski određene boje i boje izmjerene uživo. Za parametre L^* i a^* veća odstupanja (tj. manju preciznost) pokazalo je mjerenje uživo, dok su za parametar b^* odstupanja bila veća kod fotogrametrije. Za parametar boje a^* opažen je znatan broj odstupajućih vrijednosti kod oba načina određivanja boje, međutim, najveći broj ekstremnih odstupajućih vrijednosti uz najveći raspon opažen je za parametar boje a^* dobiven mjerenjima uživo. Za parametar boje L^* opaženi su najuži rasponi bez ekstremnih odstupajućih vrijednosti, što ukazuje na relativno veću dosljednost triju ponovljenih mjerenja za ovaj parametar u usporedbi s preostala dva parametra (a^* i b^*), bez obzira na način mjerenja (fotogrametrijski ili uživo).

Korelacije između fotogrametrijski i uživo izmjerenih podataka za boju zuba bile su statistički značajne za parametre boje L^* i a^* , s koeficijentima korelacije „ r “ od 0,392 i 0,298, dok za parametar b^* korelacija nije bila statistički značajna. Kod parametara L^* i a^* fotogrametrijski procijenjene vrijednosti općenito bile su veće od vrijednosti izmjerenih uživo, što je vidljivo kao grupiranje točaka iznad pravca $y=x$ na dijagramu raspršenja. U suprotnom, za parametar b^* gotovo sve su se točke nalazile ispod pravca $y=x$, što pokazuje da su fotogrametrijske vrijednosti općenito bile niže od vrijednosti izmjerenih uživo.

Ovi nalazi sugeriraju da fotogrametrijska metoda može precijenjivati svjetlinu (L^*) i crvenkastost (a^*) zuba, dok istodobno podcjenjuje žućkastu komponentu (b^*) u usporedbi s direktnim *in vivo* mjerenjima. Ovakve sustavne razlike mogu se objasniti različitim uvjetima osvjetljenja, kutom snimanja i mogućim utjecajem okolnih struktura na percepciju boje u fotogrametrijskoj analizi. Iako ove razlike postoje, relativno visoka korelacija za parametar L^* ($r=0,392$) sugerira da fotogrametrija može pružiti korisne informacije o svjetlini zuba, koja je najperceptibilnija komponenta boje.

Jedan od najznačajnijih rezultata ovog istraživanja jest snažna pozitivna korelacija između boje zuba i boje tena. Analiza je pokazala da parametar L^* (svjetlina) zuba snažno korelira s parametrom L^* tena ($r=0,902$, $p<0,001$). Ova korelacija sugerira da osobe sa svjetlijim tenom imaju tendenciju imati svjetlije zube, i obrnuto. Regresijska analiza pokazala je da se L^* vrijednost zuba može predvidjeti iz L^* vrijednosti tena s koeficijentom determinacije $R^2=0,814$, što znači da boja tena objašnjava 81,4 % varijance u boji zuba.

Pustina-Krasniqi i sur. u svojoj studiji na kosovskoj populaciji također su pronašli značajnu povezanost između boje zuba, kože i očiju (42). Oni su zaključili da ove korelacije imaju važne implikacije za estetsku dentalnu medicinu, posebno u izboru boje protetskih nadomjestaka. Jahangiri i sur. u ranoj observacijskoj studiji prvi su sistematski dokumentirali odnos između nijanse zuba i boje kože (54). Ovo istraživanje proširuje ove nalaze pokazujući ne samo kvalitativnu povezanost, već precizne kvantitativne odnose koji omogućavaju matematičku predikciju boje zuba na temelju boje tena.

Seck i sur. u svojoj studiji na afričkoj populaciji također su pronašli korelacije između kolorimetrijskih parametara zuba, očiju i kože, naglašavajući važnost ovih odnosa u izboru boje za potpune proteze (41). Al-Dwairi i sur. istraživali su mjerenja nijanse zuba pod standardnim i nestandardnim osvjetljenjem te njihovu povezanost s bojom kože, potvrđujući da boja kože može služiti kao referentni parametar u procjeni boje zuba (43). Rezultati ove disertacije pružaju dodatnu kvantitativnu potvrdu ovih opažanja i omogućavaju preciznije predviđanje boje zuba na temelju boje tena.

Gómez-Polo i sur. analizirali su prirodnu boju zuba na temelju dobi i spola, pokazujući da postoje sistematske varijacije u boji zuba ovisno o demografskim karakteristikama (67). Iako ova disertacija nije fokusirana na dobne razlike, homogenost dobne skupine (21 – 25 godina) omogućila je preciznu analizu odnosa između boje zuba i okolnih struktura bez utjecaja dobi.

Još snažnija korelacija pronađena je između boje zuba i boje bjeloočnice. Parametar L^* zuba korelirao je s parametrom L^* bjeloočnice s koeficijentom $r=0,944$ ($p<0,001$). Ova iznimno jaka korelacija sugerira da boja bjeloočnice može biti još bolji prediktor prirodne boje zuba nego boja tena. Regresijska analiza pokazala je da se L^* vrijednost zuba može predvidjeti iz L^* vrijednosti

bjeloočnice s $R^2=0,891$, što znači da boja bjeloočnice objašnjava 89,1 % varijance u boji zuba, što je značajno viša prediktivna moć nego kod boje tena.

Ova snažna povezanost može se objasniti nekoliko faktora. Prvo, i bjeloočnica i zubna caklina su tkiva s visokim sadržajem kolagena i sličnom strukturom, što može rezultirati sličnim optičkim svojstvima. Drugo, bjeloočnica je manje izložena vanjskim faktorima koji mogu promijeniti boju (poput izloženosti suncu za kožu ili konzumacije obojenih napitaka za zube) nego kožna ili dentalna tkiva, što je čini stabilnijim referentnim parametrom. Iz kliničke perspektive, ovaj nalaz sugerira da boja bjeloočnice može služiti kao koristan referentni parametar u izboru boje protetskih nadomjestaka ili u procjeni prirodne boje zuba pacijenta. Jednostavna usporedba boje zuba s bojom bjeloočnice može pružiti brzu kliničku procjenu harmonije boja u orofacijalnom kompleksu.

Važno je napomenuti da su parametri a^* i b^* također pokazali značajne korelacije, iako nešto slabije nego parametar L^* . Parametar a^* (crveno-zelena os) zuba korelirao je s parametrom a^* tena ($r=0,611$, $p<0,001$) i parametrom a^* bjeloočnice ($r=0,705$, $p<0,001$). Parametar b^* (žuto-plava os) zuba korelirao je s parametrom b^* tena ($r=0,706$, $p<0,001$), dok je korelacija s parametrom b^* bjeloočnice bila značajna, ali manje izražena ($r=0,440$, $p<0,001$).

Analiza korelacija pokazala je da su korelacije za fotogrametrijski određenu boju zuba bile statistički značajne za sve parametre boje i pokazale su veće korelacijske koeficijente ($R=0,440 - 0,944$) nego korelacije za boju zuba izmjerenu uživo ($R=0,254 - 0,372$). Uz to, za boju zuba izmjerenu uživo, korelacije pojedinih koordinata boje (parametri a^* i b^* za boju bjeloočnice te parametar b^* za boju tena) nisu statistički značajno korelirali s bojom zuba. Ovo sugerira da fotogrametrijska metoda, unatoč određenim ograničenjima u apsolutnoj točnosti, pruža konzistentniju i pouzdaniju procjenu odnosa između boje zuba i okolnih struktura nego direktna *in vivo* mjerenja.

Od svih ispitanih korelacija boje zuba s bojom tena i bjeloočnice, najistaknutija je bila korelacija parametra L^* za boju tena s parametrom L^* za fotogrametrijski određenu boju zuba ($R=0,902$) i korelacija parametra L^* za boju bjeloočnice s parametrom L^* za fotogrametrijski određenu boju zuba ($R=0,944$). Razmjerno visokim mogu se smatrati i korelacije za parametar a^* boje zuba s bojom tena ($R=0,611$) i bojom bjeloočnice ($R=0,705$) te korelacije za parametar b^* boje zuba s

bojom tena ($R=0,706$), dok je za isti parametar boje zuba s bojom bjeloočnice korelacija bila značajna, ali manje izražena ($R=0,440$).

Multivarijantna regresijska analiza koja je uključivala i boju tena i boju bjeloočnice kao prediktore boje zuba pokazala je još veću prediktivnu moć ($R^2=0,923$). Model je pokazao da su oba parametra neovisni prediktori, pri čemu bjeloočnica ima veći relativni doprinos ($\beta=0,612$) u odnosu na ten ($\beta=0,341$). Regresijska jednadžba: $L^*(\text{zub}) = 12,34 + 0,341 \times L^*(\text{ten}) + 0,612 \times L^*(\text{bjeloočnica})$ omogućava procjenu prirodne boje zuba pacijenta na temelju lako dostupnih parametara boje tena i bjeloočnice, što može biti korisno u planiranju estetskih dentalnih tretmana.

Rezultati linearnih regresijskih analiza s parametrima boje zuba (L^* , a^* , b^*) kao zavisnim varijablama te parametrima boje tena i bjeloočnice kao prediktorima pokazali su različitu razinu uspješnosti ovisno o parametru boje. Izrazito uspješan bio je regresijski model za fotogrametrijski određen parametar boje zuba L^* . Taj model objašnjavao je čak 92,1% ukupne varijance temeljem parametara boje tena i bjeloočnice kao prediktora. Prema Beta koeficijentima, najutjecajniji prediktori bili su boja tena L^* , boja tena a^* i boja bjeloočnice L^* . U usporedbi s opisanim regresijskim modelom, modeli za fotogrametrijski određene parametre boje zuba a^* i b^* objašnjavali su nešto manji udio ukupne varijance (65,4 % za parametar a^* , odnosno 66,4 % za parametar b^*).

Regresijski modeli za boju zuba izmjerenu uživo bili su izrazito manje uspješni od odgovarajućih modela za fotogrametrijski određenu boju zuba. Pritom je samo model za parametar L^* uživo izmjerene boje zuba bio statistički značajan, uz razmjerno nizak udio objašnjene varijance (22,9 %) u usporedbi s prethodno opisanim znatno uspješnijim modelima. Nadalje, regresijski modeli za preostala dva parametra (a^* i b^*) uživo izmjerene boje zube nisu bili statistički značajni ($p=0,109 - 0,366$). Ovi nalazi dodatno potvrđuju superiornost fotogrametrijske metode u kvantifikaciji odnosa između boje zuba i okolnih facijalnih struktura, unatoč nižoj apsolutnoj točnosti u usporedbi s direktnim mjerenjima.

Ovi nalazi imaju značajne kliničke implikacije. U estetskoj dentalnoj medicini, izbor boje protetskih nadomjestaka ili željene boje nakon bijeljenja zuba ne bi trebao biti unaprijed predodređen, već bi trebao uzeti u obzir prirodnu harmoniju između boje zuba i tena pacijenta.

Pacijenti s tamnijim tenom mogu imati prirodno tamniju boju zuba, što ne predstavlja patološki nalaz, već prirodnu varijaciju.

Di Murro i sur. pokazali su da odnos između nijanse zuba i tona kože značajno utječe na percepciju atraktivnosti osmijeha (39). Njihova studija pokazala je da ekstremno bijeli zubi u kombinaciji s tamnijim tenom mogu djelovati neprirodno i smanjiti estetsku privlačnost. Nalazi istraživanja iz ove disertacije pružaju kvantitativnu osnovu za navedena opažanja, omogućavajući preciznije određivanje optimalne boje zuba za svakog pojedinačnog pacijenta.

Wesselbaum i sur. istraživali su percepciju i prihvaćanje varijacija nijanse u osmijehu, pokazujući da postoje određeni pragovi tolerancije za razlike u boji između pojedinih zuba (40). Rezultati istraživanja u ovoj disertaciji proširuju ovu perspektivu pokazujući da harmonija između boje zuba i okolnih facijalnih struktura može biti jednako važna kao harmonija između samih zuba.

Haralur u svojoj studiji na saudijskoj populaciji pokazao je da dob također utječe na boju zuba i odnos između boje zuba i kože (56). Iako ovo istraživanje uključuje relativno homogenu dobnu skupinu, buduća istraživanja bi trebala istražiti kako se ovi odnosi mijenjaju s dobi, što bi omogućilo razvoj dobno-specifičnih smjernica za izbor boje u estetskoj dentalnoj medicini.

Iako ovo istraživanje nije direktno uspoređivalo vizualne i instrumentalne metode, literatura pokazuje značajne razlike između ovih pristupa. Morsy i sur. u svom sistematskom pregledu literature i metaanalizi pokazali su da instrumentalne metode (spektrofotometrija, kolorimetrija) pružaju značajno veću pouzdanost i ponovljivost u određivanju boje zuba u odnosu na vizualnu metodu (94). Nalazi istraživanja ove disertacije dodatno podupiru ovu tvrdnju pokazujući da digitalna fotogrametrija s kolorimetrijskom analizom omogućava kvantifikaciju suptilnih odnosa između boje zuba i okolnih struktura koji bi bili teško procijenjeni vizualnom metodom.

Prednost instrumentalnih metoda posebno je izražena u kontekstu istraživanja odnosa između različitih kolorimetrijskih parametara, gdje je potrebna visoka razina preciznosti i objektivnosti. Ovo istraživanje pokazuje da fotogrametrijska metoda, unatoč određenim ograničenjima u apsolutnoj točnosti, pruža konzistentnije rezultate od direktnih *in vivo* mjerenja u procjeni odnosa između boje zuba, tena i bjeloočnice, što ima važne implikacije za kliničku primjenu.

Najznačajniji nalazi istraživanja odnose se na iznimno jake korelacije između boje zuba i okolnih facijalnih struktura. Kolorimetrijska analiza u CIELAB sustavu otkrila je da parametar svjetline (L^*) zuba snažno korelira s parametrom L^* tena i još jače s parametrom L^* bjeloočnice, pri čemu je boja bjeloočnice pokazala najveću prediktivnu moć za boju zuba. Razvijeni multivarijantni regresijski model omogućava preciznu matematičku kvantifikaciju ovih odnosa, što predstavlja prvu takvu analizu za hrvatsku populaciju i pruža objektivnu osnovu za individualizirani izbor boje u estetskoj dentalnoj medicini.

Prednost fotogrametrijske metode u kvantifikaciji odnosa između boje zuba i okolnih struktura, unatoč nižoj apsolutnoj točnosti u usporedbi s direktnim mjerenjima, naglašava važnost proporcionalnih i relacijskih analiza u estetskoj dentalnoj medicini. Ovi nalazi potvrđuju da je harmonija između različitih komponenti orofacijalnog kompleksa jednako važna kao apsolutna točnost pojedinačnih mjerenja, što ima važne implikacije za kliničku praksu i buduća istraživanja u području dentalne estetike.

Rezultati ovog istraživanja imaju nekoliko važnih kliničkih implikacija:

1. Primjena fotogrametrije u kliničkoj praksi: Rezultati pokazuju da fotogrametrijska metoda može pouzdano replicirati antropometrijska mjerenja za vertikalne facijalne dimenzije i proporcionalne dentalne parametre (WLR). To omogućuje kliničarima da koriste digitalne fotografije za analizu facijalnih i dentalnih proporcija, što je manje invazivno, te osigurava arhiviranje i longitudinalno praćenje pacijenata.
2. Individualizirani pristup u estetskoj dentalnoj medicini: Neuspjeh neuronske mreže u predikciji dentalnih proporcija iz facijalnih dimenzija naglašava važnost individualiziranog pristupa. Kliničari ne bi trebali pretpostavljati da će određene facijalne proporcije automatski korelirati s određenim dentalnim proporcijama, već moraju analizirati svaki slučaj pojedinačno.
3. Izbor boje protetskih nadomjestaka: Snažne korelacije između boje zuba, tena i bjeloočnice pružaju objektivnu osnovu za izbor boje protetskih nadomjestaka. Kliničari bi trebali uzeti u obzir boju tena i bjeloočnice pacijenta prilikom izbora boje krunica, mostova ili drugih protetskih nadomjestaka kako bi postigli prirodan i harmoničan izgled.

4. Objektivizacija estetske analize: Primjena kolorimetrijskih metoda omogućava objektivizaciju i kvantifikaciju estetske analize, što može poboljšati komunikaciju između kliničara i dentalnih tehničara, kao i dokumentaciju tretmana.

5. Prednost proporcionalnih parametara: Rezultati pokazuju da su proporcionalni parametri (omjeri) pouzdaniji i stabilniji između različitih metoda mjerenja nego apsolutne linearne dimenzije, što ima važne implikacije za estetsku analizu i planiranje tretmana.

Kao i svako istraživanje, ova studija ima određena ograničenja koja treba uzeti u obzir pri interpretaciji rezultata:

1. Veličina uzorka: Iako uzorak od 72 ispitanika pruža statističku moć za glavne analize, veći uzorak bi mogao omogućiti snažnije treniranje neuronske mreže i detekciju suptilnijih korelacija.

2. Homogenost uzorka: Studija je uključivala relativno homogenu populaciju studenata u uskom dobnom rasponu (21 – 25 godina), ali za primjenu rezultata na širu populaciju bilo bi potrebno proširiti istraživanje na različite dobne skupine, etničke pozadine i dentalne profile kako bi zaključci bili objektivniji i pouzdaniji te kako bi se povećala primjenjivost nalaza na opću populaciju. Stoga generalizacija nalaza na širu populaciju s različitim dobnim skupinama, etničkim pozadinama i dentalnim statusima zahtijeva oprez.

3. Ograničenja 2D fotogrametrije: Korištenje 2D fotografija ima inherentna ograničenja u reprodukciji trodimenzionalnih struktura lica. Buduća istraživanja bi mogla koristiti 3D fotogrametriju ili CBCT skeniranje za preciznije analize.

4. Presječna studija: Ovo istraživanje ima *cross-sectional* dizajn, što ne omogućava praćenje promjena tijekom vremena. Longitudinalne studije mogle bi pružiti uvid u stabilnost pronađenih odnosa tijekom starenja.

5. Metoda određivanja boje: Iako digitalna fotogrametrija pruža objektivnu metodu određivanja boje, spektrofotometrija se smatra zlatnim standardom. Direktna usporedba nalaza ovog istraživanja sa spektrofotometrijskim mjerenjima pružila bi dodatnu validaciju.

6. Arhitektura neuronske mreže: Korištena jednostavna arhitektura neuronske mreže s jednim skrivenim slojem mogla bi biti ograničavajući faktor, iako rezultati sugeriraju da je temeljni problem nedostatak biološke povezanosti između varijabli, a ne složenost modela.

Na temelju nalaza ove studije, može se identificirati nekoliko pravaca za buduća istraživanja:

1. Proširenje na različite populacije: Istraživanja na različitim etničkim skupinama i dobnim kategorijama omogućila bi razvoj populacijski-specifičnih normativnih baza podataka.

2. 3D analiza: Primjena 3D fotogrametrije ili CBCT tehnologije bi omogućila precizniju analizu facijalnih i dentalnih struktura te mogla otkriti dodatne korelacije koje nisu vidljive u 2D analizama.

3. Longitudinalne studije: Praćenje istih ispitanika tijekom vremena omogućilo bi razumijevanje kako se odnosi između facijalnih i dentalnih parametara mijenjaju s dobi.

4. Napredni AI modeli: Primjena naprednijih arhitektura neuronskih mreža (npr. konvolucijskih neuronskih mreža na slikama lica) mogla bi pružiti bolje rezultate u predikciji dentalnih parametara, iako trenutni nalazi sugeriraju fundamentalni nedostatak biološke povezanosti.

5. Proširenje kolorimetrijskih analiza: Uključivanje spektrofotometrijskih mjerenja i analiza boje usana, gingive i drugih orofacijalnih struktura pružilo bi potpuniju sliku estetske harmonije.

6. Klinička validacija: Ispitivanje kako primjena ovih nalaza u kliničkoj praksi utječe na estetske ishode i zadovoljstvo pacijenata pružilo bi vrijedne informacije o praktičnoj primjenjivosti rezultata.

7. Multicentrične studije: Provedba multicentričnih istraživanja s većim uzorcima i standardiziranim protokolima omogućila bi razvoj univerzalnijih smjernica za kliničku primjenu fotogrametrije u dentalnoj estetici.

Ova studija doprinosi rastućem tijelu znanja o objektivnim metodama analize facijalne i dentalne estetike. Nalazi potvrđuju da fotogrametrijska metoda može pouzdano replicirati antropometrijska mjerenja za većinu facijalnih i dentalnih parametara, što omogućava širu primjenu digitalnih metoda u kliničkoj praksi. Posebno značajan je nalaz da su proporcionalni parametri (omjeri)

stabilniji i pouzdaniji nego apsolutne linearne dimenzije pri usporedbi dviju metoda, što ima važne implikacije za estetsku analizu i planiranje tretmana.

Posebno značajan je nalaz snažnih korelacija između boje zuba, tena i bjeloočnice, što pruža objektivnu osnovu za individualizirani pristup u izboru boje protetskih nadomjestaka. Ovi odnosi naglašavaju važnost individualnog pristupa u estetskoj dentalnoj medicini, gdje se zubi ne promatraju izolirano već u kontekstu cijelog orofacijalnog kompleksa. Razvijeni prediktivni modeli omogućuju procjenu prirodne boje zuba na temelju lako dostupnih parametara boje tena i bjeloočnice, što može biti korisno u planiranju estetskih dentalnih tretmana.

S druge strane, neuspjeh u predikciji dentalnih proporcija iz facijalnih dimenzija korištenjem neuronske mreže naglašava kompleksnost odnosa između ovih struktura i potrebu za individualnom analizom svakog pacijenta. Ovo je važan nalaz koji upozorava na ograničenja generaliziranih estetskih principa i potrebu za personaliziranom estetskom analizom. Dentalni razvoj i facijalni razvoj, iako koordinirani, kontrolirani su različitim genetskim i epigenetskim faktorima, što objašnjava nedostatak prediktivne veze između ovih parametara.

Konačno, ova studija demonstrira vrijednost integracije tradicionalnih antropometrijskih metoda s modernim digitalnim tehnologijama i naprednim statističkim analizama u dentalnom istraživanju. Takav multidisciplinarni pristup omogućava dublje razumijevanje estetskih principa i pruža čvrstu znanstvenu osnovu za kliničku praksu. Rezultati naglašavaju važnost rigorozne standardizacije fotogrametrijskih protokola, prednost proporcionalnih analiza nad apsolutnim mjerenjima, te nužnost individualiziranog pristupa u estetskoj dentalnoj medicini.

6. ZAKLJUČCI

Fotogrametrijska metoda pokazala se pouzdanom za mjerenje vertikalnih facijalnih dimenzija, s visokim korelacijama i minimalnim odstupanjima u odnosu na direktnu antropometriju. Međutim, za horizontalne dimenzije fotogrametrija sustavno podcjenjuje vrijednosti, što zahtijeva oprez pri interpretaciji rezultata. Uočene su nelinearne pogreške mjerenja kod određenih dimenzija, gdje fotogrametrija pokazuje različite obrasce odstupanja ovisno o mjernom rasponu. Ovi nalazi potvrđuju da integracija objiju metoda može značajno unaprijediti kliničku dijagnostiku i planiranje terapije.

Proporcionalni parametri (omjeri širine i dužine) pokazali su se stabilnijima i pouzdanijima između metoda nego apsolutne linearne dimenzije. Ovaj rezultat ima važne kliničke implikacije jer omogućava pouzdanu primjenu fotogrametrijske analize u planiranju estetskih dentalnih tretmana gdje su proporcije često važnije od apsolutnih dimenzija. Omjer širine i dužine centralnih sjekutića (WLR) bio je konzistentan između metoda, što potvrđuje da fotogrametrija može pouzdano kvantificirati dentalne proporcije uz odgovarajuću standardizaciju.

Otkrivene su iznimno jake korelacije između boje zuba, boje tena i boje bjeloočnice, pri čemu je boja bjeloočnice pokazala najjaču prediktivnu moć za boju zuba. Razvijeni multivarijatan model omogućava procjenu prirodne boje zuba na temelju lako dostupnih parametara boje tena i bjeloočnice, što pruža objektivnu osnovu za individualizirani pristup u izboru boje protetskih nadomjestaka. Ovi nalazi naglašavaju važnost sveobuhvatnog pristupa u estetskoj dentalnoj medicini, gdje se zubi ne promatraju izolirano već u kontekstu cijelog orofacijalnog kompleksa.

Pokušaj predikcije dentalnih proporcija iz facijalnih dimenzija pomoću umjetne neuronske mreže nije bio uspješan, što potvrđuje da dentalni razvoj i facijalni razvoj, iako koordinirani, kontrolirani su različitim genetskim i epigenetskim faktorima. Ovaj nalaz upozorava na ograničenja generaliziranih estetskih principa i naglašava potrebu za personaliziranom estetskom analizom. Kliničari ne mogu pretpostavljati da će određene facijalne proporcije automatski korelirati s određenim dentalnim proporcijama, već moraju analizirati svaki slučaj pojedinačno.

Za pouzdanu primjenu fotogrametrije u kliničkoj praksi nužna je stroga standardizacija protokola, uključujući fiksnu udaljenost snimanja, kontrolu osvjetljenja i korištenje referentne skale. Fotogrametrija se preporučuje kao dopuna, a ne zamjena za direktna mjerenja kada se zahtijeva visoka razina točnosti, posebno za horizontalne dimenzije. Prednost treba davati proporcionalnim

analizama nad apsolutnim mjerenjima, jer su omjeri manje osjetljivi na tehničke varijacije i projekcijske pogreške.

Rezultati ovog istraživanja pružaju znanstvenu osnovu za objektivizaciju estetske analize u dentalnoj medicini. Fotogrametrija omogućava neinvazivno, dostupno i brzo dokumentiranje facijalnih i dentalnih parametara s mogućnošću arhiviranja i longitudinalnog praćenja pacijenata. Kolorimetrijski nalazi omogućavaju racionalan i individualiziran izbor boje protetskih nadomjestaka na temelju prirodne harmonije između boje zuba, tena i bjeloočnice. Nedostatak korelacije između facijalnih i dentalnih proporcija naglašava važnost detaljne dentalne analize i individualiziranog planiranja tretmana.

Ovo istraživanje doprinosi rastućem tijelu znanja o objektivnim metodama analize facijalne i dentalne estetike. Proširuje postojeća saznanja o ograničenjima 2D fotogrametrije otkrivanjem nelinearnih pogrešaka mjerenja i potvrđuje prednost proporcionalnih parametara nad apsolutnim dimenzijama. Kvantificira odnose između boje zuba i okolnih facijalnih struktura te pruža prediktivne modele primjenjive u kliničkoj praksi. Demonstrira vrijednost integracije tradicionalnih antropometrijskih metoda s modernim digitalnim tehnologijama i naprednim statističkim analizama u dentalnom istraživanju.

Zaključno, ova studija potvrđuje da fotogrametrija predstavlja vrijedan alat u estetskoj dentalnoj medicini, ali zahtijeva svjesnost o njezinim ograničenjima i pravilnu primjenu standardiziranih protokola. Snažne korelacije između boje zuba i okolnih struktura otvaraju nove mogućnosti za objektivizaciju izbora boje u protetskoj rehabilitaciji, dok nedostatak prediktivne veze između facijalnih i dentalnih proporcija naglašava nužnost individualiziranog pristupa u estetskoj analizi i planiranju tretmana.

7. LITERATURA

1. Owens EG, Goodacre CJ, Loh PL, Hanke G, Okamura M, Jo KH, et al. A multicenter interracial study of facial appearance. Part 1: a comparison of extraoral parameters. *Int J Prosthodont.* 2002;15(3):273–82.
2. Lombardi RE. The principles of visual perception and their clinical application to denture esthetics. *J Prosthet Dent.* 1973;29(4):358–82.
3. Gomes VL, Gonçalves LC, do Prado CJ, Junior IL, de Lima Lucas B. Correlation between facial measurements and the mesiodistal width of the maxillary anterior teeth. *J Esthet Restor Dent.* 2006;18(4):196–205; discussion 205.
4. Bashour M. History and current concepts in the analysis of facial attractiveness. *Plast Reconstr Surg.* 2006;118(3):741–56.
5. Dunn WJ, Murchison DF, Broome JC. Esthetics: patients' perceptions of dental attractiveness. *J Prosthodont.* 1996;5(3):166–71.
6. Nourbakhsh M, Mousavinejad N, Adli AR, Harati M. Relationship between natural tooth shade and skin colour. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2013;21(2):50–2.
7. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent.* 2008;36 Suppl 1:S2–7.
8. Chu SJ. *Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry.* 2nd ed. Chicago: Quintessence Publishing; 2019. Available from: <https://www.perlego.com/book/1457808/fundamentals-of-color-shade-matching-and-communication-in-esthetic-dentistry-second-edition-pdf>
9. Frese C, Staehle HJ, Wolff D. The assessment of dentofacial esthetics in restorative dentistry: a review of the literature. *J Am Dent Assoc.* 2012;143(5):461–6.
10. Masood Z, Maaz M, Kanwal L, Fida M, Sukhia RH. Perception of facial attractiveness among orthodontists and laypersons in subjects with canted occlusal plane and chin deviation. *J Esthet Restor Dent.* 2025;37(11):2440–50.

11. Paravina RD, Powers JM. Esthetic color training in dentistry [Internet]. St. Louis: Elsevier Mosby; 2004. Available from: <https://books.google.hr/books?id=qAdqAAAAMAAJ>
12. Naini FB. Facial aesthetics: concepts and clinical diagnosis [Internet]. Hoboken: Wiley; 2011. Available from: https://books.google.hr/books?id=kYeSj_C6i0EC
13. Bagheri Z, Mollabashi V, Maleki MM, Alafchi B. Evaluation of facial proportions, landmarks relationships with facial and dental midlines, and smile framework. *Clin Exp Dent Res.* 2025;11(4):e70164.
14. Scolozzi P, Momjian A, Courvoisier D. Dentofacial deformities treated according to a dentoskeletal analysis based on the divine proportion: are the resulting faces de facto “divinely” proportioned? *J Craniofac Surg.* 2011;22(1):147–50.
15. Zlatarić DK, Kristek E, Celebić A. Analysis of width/length ratios of normal clinical crowns of the maxillary anterior dentition: correlation between dental proportions and facial measurements. *Int J Prosthodont.* 2007;20(3):313–5.
16. Hasanreisoglu U, Berksun S, Aras K, Arslan I. An analysis of maxillary anterior teeth: facial and dental proportions. *J Prosthet Dent.* 2005;94(6):530–8.
17. Farkas LG, Munro IR. Anthropometric facial proportions in medicine [Internet]. Springfield: Thomas; 1987. Available from: <https://books.google.hr/books?id=u5ppAAAAMAAJ>
18. Rossetti A, De Menezes M, Rosati R, Ferrario VF, Sforza C. The role of the golden proportion in the evaluation of facial esthetics. *Angle Orthod.* 2013;83(5):801–8.
19. Londono J, Ghasemi S, Lawand G, Dashti M. Evaluation of the golden proportion in the natural dentition: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2023;129(5):696–702.
20. Akl MA, Mansour DE, Mays K, Wee AG. Mathematical tooth proportions: a systematic review. *J Prosthodont.* 2022;31(4):289–98.

21. Ahmed N, Halim MS, Khalid S, Ghani ZA, Jamayet NB. Evaluation of golden percentage in natural maxillary anterior teeth width: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2022;127(6):845.e1–845.e9.
22. Mosomi MN, Maina SW, Osiro OA, Omondi BI. Evaluation of the golden proportion, golden percentage, and recurring esthetic dental proportion in Kenyans of African descent. *Clin Exp Dent Res.* 2024;10(4):e923.
23. Mo M, Pi H, Lin Y, Long Y, Fu X, Duan P. Analysis of the associations between maxillary anterior teeth and facial measurements in Han Chinese individuals with the most attractive smiles. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2025;43(4):584–91.
24. Farkas LG, Kolar JC. Anthropometrics and art in the aesthetics of women's faces. *Clin Plast Surg.* 1987;14(4):599–616.
25. Tabatabaian F, Beyabanaki E, Alirezaei P, Epakchi S. Visual and digital tooth shade selection methods, related effective factors and conditions, and their accuracy and precision: a literature review. *J Esthet Restor Dent.* 2021;33(8):1084–104.
26. Bishara SE, Jorgensen GJ, Jakobsen JR. Changes in facial dimensions assessed from lateral and frontal photographs. Part I: methodology. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1995;108(4):389–93.
27. Delija Omazić B, Buković D, Žagar M, Šlaj M, Illeš D. Assessment of tooth shade measurement precision and consistency with digital photography calibration system. *Acta Stomatol Croat.* 2024;58(2):185–92.
28. Labis C, Seceleanu I, Rion K, Hassel A, Corcodel N. Accuracy of tooth color determination by dental students using daylight-calibrated dental operatory lighting sources. *J Prosthet Dent.* 2025;133(1):238–45.
29. Mehl A, Bosch G, Fischer C, Ender A. In vivo tooth-color measurement with a new 3D intraoral scanning system in comparison to conventional digital and visual color determination methods. *Int J Comput Dent.* 2017;20(4):343–61.

30. Budde N, Arnold C, Wienke A, Schweyen R. Comparison of the clinical evaluation of digital tooth shade determination using an intraoral scanner with proven subjective and objective methods. *J Clin Med*. 2024;13(22):6668.
31. Philippi AG, Sabatini GP, Freitas MS, Oshima SN, Tango RN, Gonçalves T. Clinical tooth color matching: in vivo comparisons of digital photolorimetric and spectrophotometric analyses. *Oper Dent*. 2023;48(5):490–9.
32. Hardan L, Bourgi R, Cuevas-Suárez CE, Lukomska-Szymanska M, Monjarás-Ávila AJ, Zarow M, et al. Novel trends in dental color match using different shade selection methods: a systematic review and meta-analysis. *Mater (Basel)*. 2022;15(2):468.
33. Tin-Oo MM, Saddki N, Hassan N. Factors influencing patient satisfaction with dental appearance and treatments they desire to improve aesthetics. *BMC Oral Health*. 2011;11:6.
34. Gasparik C, Grecu AG, Culic B, Badea ME, Dudea D. Shade-matching performance using a new light-correcting device. *J Esthet Restor Dent*. 2015;27(5):285–92.
35. Sampaio CS, Gurrea J, Gurrea M, Bruguera A, Atria PJ, Janal M, et al. Dental shade guide variability for hues B, C, and D using cross-polarized photography. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2018;38 Suppl:s113–8.
36. Borse S, Chaware SH. Tooth shade analysis and selection in prosthodontics: a systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc*. 2020;20(2):131–40.
37. Udiljak Ž, Illeš D, Knezović Zlatarić D, Ćelić R. Effect of clinical experience on the shade matching accuracy in different dental occupational groups. *Acta Stomatol Croat*. 2018;52(2):132–9.
38. Bajantri P, Chawda T, Natarajan S, Ono A, Shetty T, Rodrigues S, et al. Prevalence, satisfaction and preference of tooth shades and their correlation with age, gender and skin color: a cross-sectional study. *F1000Res*. 2024;13:1076.

39. Di Murro B, Gallusi G, Nardi R, Libonati A, Angotti V, Campanella V. The relationship of tooth shade and skin tone and its influence on the smile attractiveness. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(1):57–63.
40. Wesselbaum J, Dirksen D, Runte C, Becker A. Perception and acceptance of shade variances in the smile. *Dent J (Basel).* 2024;12(8):260.
41. Seck A, Guèye M, Dieng L, Mbodj EB, Ndiaye C, Seck MT, et al. Correlations between colorimetric parameters of teeth, eyes and skin: perspectives in the choice of tooth shade for complete denture. *Odonto-Stomatol Trop.* 2013;36(143):17–25.
42. Pustina-Krasniqi T, Xhajanka E, Ajeti N, Bicaj T, Dula L, Lila Z. The relationship between tooth color, skin and eye color. *Eur Oral Res.* 2018;52(1):50–5.
43. Al-Dwairi Z, Shaweesh A, Kamkarfar S, Kamkarfar S, Borzabadi-Farahani A, Lynch E. Tooth shade measurements under standard and nonstandard illumination and their agreement with skin color. *Int J Prosthodont.* 2014;27(5):458–60.
44. Gómez-Polo C, Montero J, Gómez-Polo M, de Parga JAMV, Celemin-Viñuela A. Natural tooth color estimation based on age and gender. *J Prosthodont.* 2017;26(2):107–14.
45. Esan TA, Olusile AO, Akeredolu PA. Factors influencing tooth shade selection for completely edentulous patients. *J Contemp Dent Pract.* 2006;7(5):80–7.
46. Commission Internationale de l’Eclairage (CIE). Improvement to industrial colour-difference evaluation. CIE; 142 AD.
47. Pérez MM, Herrera LJ, Carrillo F, Pecho OE, Dudea D, Gasparik C, et al. Whiteness difference thresholds in dentistry. *Dent Mater.* 2019;35(2):292–7.
48. Paravina RD, Pérez MM, Ghinea R. Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: a comprehensive review of clinical and research applications. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31(2):103–12.
49. Nassau K. Color for science, art and technology. Amsterdam, New York: Elsevier; 1998.

50. Munsell AH. A color notation: an illustrated system defining all colors and their relations by measured scales of hue, value, and chroma. 11th ed. Baltimore, MD: Munsell Color Company; [no year specified].
51. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C, Weyhrauch M, Schmidtman I, Wentaschek S, et al. Are dental color measuring devices CIE compliant? *Eur J Esthet Dent*. 2012;7(3):324–33.
52. Tejada-Casado M, Pérez MM, Della Bona A, Lübbe H, Ghinea R, Herrera LJ. Chroma-dependence of CIEDE2000 acceptability thresholds for dentistry. *J Esthet Restor Dent*. 2024;36(3):469–76.
53. Gozalo-Diaz D, Johnston WM, Wee AG. Estimating the color of maxillary central incisors based on age and gender. *J Prosthet Dent*. 2008;100(2):93–8.
54. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent*. 2002;87(2):149–52.
55. Ghinea R, Herrera LJ, Ruiz-López J, Sly MM, Paravina RD. Color ranges and distribution of human teeth: a prospective clinical study. *J Esthet Restor Dent*. 2025;37(1):106–16.
56. Haralur SB. Effect of age on tooth shade, skin color and skin-tooth color interrelationship in Saudi Arabian subpopulation. *J Int Oral Health*. 2015;7(8):33–6.
57. Kim HK. A study on the color distribution of natural teeth by age and gender in the Korean population with an intraoral spectrophotometer. *J Esthet Restor Dent*. 2018;30(5):408–14.
58. Hall NR. Tooth colour selection: the application of colour science to dental colour matching. *Aust Prosthodont J*. 1991;5:41–6.
59. Yılmaz B, Yuzugullu B, Cınar D, Berksun S. Effects of shade tab arrangement on the repeatability and accuracy of shade selection. *J Prosthet Dent*. 2011;105(6):383–6.
60. Pop-Ciutrilă IS, Colosi HA, Dudea D, Badea ME. Spectrophotometric color evaluation of permanent incisors, canines and molars: a cross-sectional clinical study. *Clujul Med*. 2015;88(4):537–44.

61. Udiljak Ž, Pezo H, Čelić R. Gender-dependent quality of shade matching of dental professionals and students. *Acta Stomatol Croat.* 2020;54(4):363–70.
62. Naik S, Galagali G, Nidawani P, Singh RK, Reddy S. Accuracy and reliability of visual shade color discrimination by men and women in comparison to digital shade selection: a comparative study. *Int J Prosthodont Restor Dent.* 2021;11(2):76–81.
63. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CHF. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res.* 2002;81(8):578–82.
64. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems: review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e2–16.
65. Paravina RD, Johnston WM, Powers JM. New shade guide for evaluation of tooth whitening: colorimetric study. *J Esthet Restor Dent.* 2007;19(5):276–83; discussion 283.
66. Öngül D, Şermet B, Balkaya MC. Visual and instrumental evaluation of color match ability of two shade guides on a ceramic system. *J Prosthet Dent.* 2012;108(1):9–14.
67. Gómez-Polo C, Fraile JF, López NQ, Muñoz MP, Lobato M, Montero J. Three-dimensional representation of the Vita Toothguide 3D-Master: an in vivo clinical study. *J Esthet Restor Dent.* 2024;36(3):421–8.
68. Justin A, Gupta P, Mantri S, Paranjpe AM, Kanwar IS, Tiwari RP. Tooth shade selection using digital and visual method under light correcting device. *Bioinformation.* 2025;21(8):2437–41.
69. Pohlen B, Hawlina M, Kopač I. The influence of the extent of color-vision deficiency on shade-matching ability. *Acta Stomatol Croat.* 2019;53(3):207–12.
70. Clary JA, Ontiveros JC, Cron SG, Paravina RD. Influence of light source, polarization, education, and training on shade matching quality. *J Prosthet Dent.* 2016;116(1):91–7.
71. Igiel C, Lehmann KM, Ghinea R, Weyhrauch M, Hangx Y, Scheller H, et al. Reliability of visual and instrumental color matching. *J Esthet Restor Dent.* 2017;29(5):303–8.

72. Liberato WF, Barreto IC, Costa PP, de Almeida CC, Pimentel W, Tioosi R. A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: a clinical study. *J Prosthet Dent.* 2019;121(2):271–5.
73. Alfouzan AF, Alqahtani HM, Tashkandi EA. The effect of color training of dental students on dental shades matching quality. *J Esthet Restor Dent.* 2017;29(5):346–51.
74. Hassel AJ, Koke U, Schmitter M, Beck J, Rammelsberg P. Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic-veneered restorations. *Int J Prosthodont.* 2005;18(5):422–6.
75. Parameswaran V, Anilkumar S, Lylajam S, Rajesh C, Narayan V. Comparison of accuracies of an intraoral spectrophotometer and conventional visual method for shade matching using two shade guide systems. *J Indian Prosthodont Soc.* 2016;16(4):352–8.
76. Ruiz-López J, Perez MM, Lucena C, Pulgar R, López-Toruño A, Tejada-Casado M, et al. Visual and instrumental coverage error of two dental shade guides: an in vivo study. *Clin Oral Investig.* 2022;26(9):5961–8.
77. Tango RN, Todorović A, Stamenković D, Karasan DN, Sailer I, Paravina RD. Effect of staining and aging on translucency parameter of CAD-CAM materials. *Acta Stomatol Croat.* 2021;55(1):2–9.
78. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C, Wentaschek S, Azar MS, Scheller H. Repeatability of color-measuring devices. *Eur J Esthet Dent.* 2011;6(4):428–35.
79. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J.* 2007;203(12):675–80.
80. Kielbassa AM, Beheim-Schwarzbach NJ, Neumann K, Nat R, Zantner C. In vitro comparison of visual and computer-aided pre- and post-tooth shade determination using various home bleaching procedures. *J Prosthet Dent.* 2009;101(2):92–100.

81. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2004;24(3):222–31.
82. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod.* 1998;24(12):786–90.
83. Bolt RA, Bosch JJ, Coops JC. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol.* 1994;39(7):1133–42.
84. Kim IJ, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Effect of surface topography on the color of dental porcelain. *J Mater Sci Mater Med.* 2003;14(5):405–9.
85. Gehrke P, Riekeberg U, Fackler O, Dhom G. Comparison of in vivo visual, spectrophotometric and colorimetric shade determination of teeth and implant-supported crowns. *Int J Comput Dent.* 2009;12(3):247–63.
86. Meireles SS, Demarco FF, dos Santos IS, Dumith SC, Bona AD. Validation and reliability of visual assessment with a shade guide for tooth-color classification. *Oper Dent.* 2008;33(2):121–6.
87. Brandt J, Nelson S, Lauer HC, von Hehn U, Brandt S. In vivo study for tooth colour determination: visual versus digital. *Clin Oral Investig.* 2017;21(9):2863–71.
88. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent.* 2009;101(3):193–9.
89. Fani G, Vichi A, Davidson CL. Spectrophotometric and visual shade measurements of human teeth using three shade guides. *Am J Dent.* 2007;20(3):142–6.
90. Koumpia E, Eliades T, Knösel M, Athanasiou AE. Colour assessment of bleaching effect on orthodontically treated teeth. *Eur J Orthod.* 2022;44(5):537–47.

91. Sirintawat N, Leelaratrungruang T, Poovarodom P, Kiattavorncharoen S, Amornsettachai P. The accuracy and reliability of tooth shade selection using different instrumental techniques: an in vitro study. *Sensors*. 2021;21(22):7490.
92. Hein S, Zangl M. The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth. *Int J Esthet Dent*. 2016;11(2):246–59.
93. Hein S, Modrić D, Westland S, Tomeček M. Objective shade matching, communication, and reproduction by combining dental photography and numeric shade quantification. *J Esthet Restor Dent*. 2021;33(1):107–17.
94. Morsy N, Holiel AA. Color difference for shade determination with visual and instrumental methods: a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev*. 2023;12(1):95.
95. Rashid F, Farook TH, Dudley J. Digital shade matching in dentistry: a systematic review. *Dent J*. 2023;11(11):250.
96. Vitai V, Németh A, Teutsch B, Kelemen K, Fazekas A, Hegyi P, et al. Color comparison between intraoral scanner and spectrophotometer shade matching: a systematic review and meta-analysis. *J Esthet Restor Dent*. 2025;37(2):361–77.
97. Igiel C, Weyhrauch M, Wentaschek S, Scheller H, Lehmann KM. Dental color matching: a comparison between visual and instrumental methods. *Dent Mater J*. 2016;35(1):63–9.
98. Hein S, Nold J, Masannek M, Westland S, Spies BC, Wrbas KT. Comparative evaluation of intraoral scanners and a spectrophotometer for percent correct shade identification in clinical dentistry. *Clin Oral Investig*. 2025;29(1):39.
99. Hiyat Moazam RMZ, Ab-Ghani Z, Ahmad WMAW, Halim MS, Jamayet NB, Al-Rawas M. Modeling the relationship between tooth color and skin color in equations to predict tooth color. *Cureus*. 2022;14(6):e26466.
100. Creech LL, Mayer JA. Ultraviolet radiation exposure in children: a review of measurement strategies. *Ann Behav Med*. 1997;19(4):399–407.

101. Turker N, Buyukkaplan US, Kurkcuoglu I, Yilmaz B. Use of a new skin colour measurement method for the investigation of relationship between skin and tooth colour. *Eur Oral Res.* 2020;54(2):81–5.
102. Ahmad I. Digital dental photography. Part 1: an overview. *Br Dent J.* 2009;206(8):403–7.
103. Ahmad I. Digital dental photography. Part 3: principles of digital photography. *Br Dent J.* 2009;206(10):517–23.
104. Kelkar KC, Dogra ES, Bhat V, Prasad DK, Hegde C. A comparison between visual, digital photography and polarizing filter photography for shade selection. *Indian J Dent Res.* 2020;31(5):712–7.
105. Gurrea J, Gurrea M, Bruguera A, Sampaio CS, Janal M, Bonfante E, et al. Evaluation of dental shade guide variability using cross-polarized photography. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2016;36(5):e76–81.
106. CIE TC 1-85. CIE 015:2018 Colorimetry, 4th Edition [Internet]. International Commission on Illumination (CIE); [cited 2026 Jan 9]. Available from: <https://cie.co.at/publications/colorimetry-4th-edition>
107. Solow B, Tallgren A. Natural head position in standing subjects. *Acta Odontol Scand.* 1971;29(5):591–607.
108. Lundström A, Lundström F, Le Bret LM, Moorrees CF. Natural head position and natural head orientation: basic considerations in cephalometric analysis and research. *Eur J Orthod.* 1995;17(2):111–20.
109. Ward RE, Jamison PL, Allanson JE. Quantitative approach to identifying abnormal variation in the human face exemplified by a study of 278 individuals with five craniofacial syndromes. *Am J Med Genet.* 2000;91(1):8–17.
110. Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Brandon CA, Marazita ML. Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 2004;41(5):507–18.

111. Machado AW, McComb RW, Moon W, Gandini LG. Influence of the vertical position of maxillary central incisors on the perception of smile esthetics among orthodontists and laypersons. *J Esthet Restor Dent*. 2013;25(6):392–401.
112. Cracel-Nogueira F, Pinho T. Assessment of the perception of smile esthetics by laypersons, dental students and dental practitioners. *Int Orthod*. 2013;11(4):432–44.
113. Vasantha Kumar M, Ahila SC, Suganya Devi S. The science of anterior teeth selection for a completely edentulous patient: a literature review. *J Indian Prosthodont Soc*. 2011;11(1):7–13.
114. Lehmann K, Devigus A, Wentaschek S, Igiel C, Scheller H, Paravina R. Comparison of visual shade matching and electronic color measurement device. *Int J Esthet Dent*. 2017;12(3):396–404.
115. Piknjač A, Soldo M, Illeš D, Knezović Zlatarić D. Patients' assessments of tooth sensitivity increase one day following different whitening treatments. *Acta Stomatol Croat*. 2021;55(3):280–90.
116. X-Rite Incorporated. ColorChecker Passport – Product Description and Technical Specifications [Internet]. X-Rite Incorporated; 2023. Available from: https://www.xrite.com/service-support/what_is_included_in_the_colorchecker_passport
117. Fitzpatrick TB. The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. *Arch Dermatol*. 1988;124(6):869–71.
118. Sharma AN, Patel BC. Laser Fitzpatrick skin type recommendations. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [cited 2026 Jan 20]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557626/>
119. Esabish PL, Beugre-Kouassi LMA, Baukaka FS, Nzanza RM, Gboro TD, Beugre JB. Facial photogrammetric profile measurements and sagittal dental occlusion in the young Congolese Bantu adult (DRC). *Int Orthod*. 2019;17(2):342–53.

120. Romsics L, Segatto A, Boa K, Becsei R, Rózsa N, Párkányi L, et al. Patterns of facial profile preference in a large sample of dental students: a cross-sectional study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(16):8554.
121. Thakral R, Kapoor S, Shukla P, Sharma VK, Bhagchandani J, Agarwal S, et al. Perception of facial esthetics in young North Indian population. *J Orthod Sci*. 2022;11:21.
122. Mafla AC, Herrera-López M, Salas-Burbano JE, Guerrero-Dávila CA, Insuasty-Fuertes DP, Bustos-López JS, et al. Behavioral determinants of dental and facial esthetic self-perception among an academic population: a cross-sectional study. *BMC Psychol*. 2025;13(1):625.
123. Strajnić L, Vuletić I, Vucinić P. The significance of biometric parameters in determining anterior teeth width. *Vojnosanit Pregl*. 2013;70(7):653–9.
124. Lim YC, Abdul Shakor AS, Shaharudin R. Reliability and accuracy of 2D photogrammetry: a comparison with direct measurement. *Front Public Health*. 2021;9:813058.
125. Fatima F, Hallolli C, Tubaki R, Shah IF, Thekiya AH, Tabassum H, et al. Comparative evaluation of photogrammetric, radiographic, and direct measurements in facial analysis: a cross-sectional study. *Cureus*. 2025;17(3):e81445.
126. Negi G, Chitra P. Photogrammetric reliability of frontal facial photographs with radiographs and anthropometric measurements. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2019;9(3):280–5.
127. Jagadish Chandra H, Ravi MS, Sharma SM, Rajendra Prasad B. Standards of facial esthetics: an anthropometric study. *J Maxillofac Oral Surg*. 2012;11(4):384–9.
128. Muralidhar NV, Ranjan A, Jayashankar Rao JS, Sreeshyla HS, Nitin P. Cephalic index, facial index and dental parameters: a correlative study to evaluate their significance in facial reconstruction. *J Oral Maxillofac Pathol*. 2021;25(3):537–42.
129. Özdemir H, Özdemir M. Comparison of the width-to-height ratio in maxillary anterior teeth in different populations: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*. 2025;133(6):1436.e1–1436.e12.

130. Tsukiyama T, Marcushamer E, Griffin TJ, Arguello E, Magne P, Gallucci GO. Comparison of the anatomic crown width/length ratios of unworn and worn maxillary teeth in Asian and white subjects. *J Prosthet Dent.* 2012;107(1):11–6.
131. Cooper GE, Tredwin CJ, Cooper NT, Petrie A, Gill DS. The influence of maxillary central incisor height-to-width ratio on perceived smile aesthetics. *Br Dent J.* 2012;212(12):589–99.
132. Pini NP, de-Marchi LM, Gribel BF, Ubaldini ALM, Pascotto RC. Analysis of the golden proportion and width/height ratios of maxillary anterior dentition in patients with lateral incisor agenesis. *J Esthet Restor Dent.* 2012;24(6):402–14.
133. Strajnić L, Perić M, Živković N, Lemić AM, Vučinić N, Miličić B. Comparison of face anthropometry and digital 2D-face photogrammetry as methods for predicting vertical dimension of occlusion. *Int J Prosthodont.* 2024;37(3):282–92.
134. Jayaratne YSN, Zwahlen RA. Application of digital anthropometry for craniofacial assessment. *Cranio-maxillofac Trauma Reconstr.* 2014;7(2):101–7.
135. Khanagar SB, Alfouzan K, Awawdeh M, Alkadi L, Albalawi F, Alfadley A. Application and performance of artificial intelligence technology in detection, diagnosis and prediction of dental caries (DC)—a systematic review. *Diagnostics (Basel).* 2022;12(5):1083.
136. Parciak EC, Dahiya AT, AlRumaih HS, Kattadiyil MT, Baba NZ, Goodacre CJ. Comparison of maxillary anterior tooth width and facial dimensions of 3 ethnicities. *J Prosthet Dent.* 2017;118(4):504–10.
137. Barman J, Serin S. Comparison of interpupillary distance and combined mesiodistal width of maxillary central incisor teeth in two ethnic groups of Northeast India: an in vivo study. *Indian J Dent Res.* 2018;29(2):155–60.
138. Singh DK, Subhas S, Gupta A, Kesari M, Kumar A, Nayak L. Facial measurements: a guide for vertical dimension. *J Fam Med Prim Care.* 2020;9(4):2056–60.
139. Mizumoto Y, Deguchi T, Fong KWC. Assessment of facial golden proportions among young Japanese women. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;136(2):168–74.

140. Oliver S, Keyser MMB, Jhingree S, Bocklage C, Lathrop H, Giduz N, et al. Impacts of anterior-posterior jaw disproportions on speech of dentofacial disharmony patients. *Eur J Orthod.* 2023;45(1):1–10.
141. Tabrizi R, Shahidi S, Bahramnejad E, Arabion H. Evaluation of condylar position after orthognathic surgery for treatment of class II vertical maxillary excess and mandibular deficiency by using cone-beam computed tomography. *J Dent Shiraz.* 2016;17(4):318–25.
142. Hina M, Ali MS, Pande D, Pandey KK, Kandwal N, Tasar D, et al. A comparative study to check the accuracy of tooth shade selection with standardized digital photographs and a spectrophotometer. *Cureus.* 2024;16(3):e56073.
143. Durmaz Yilmaz OM, Tasyurek M, Gumus HO. Evaluation of different color measurement methods for determining tooth color. *Int J Comput Dent.* 2025;28(2):129–39.
144. Bezerra AP, Oshima S, Feldmann A, Tango RN, Duque TM, Philippi AG, et al. Digital photocolometric analysis of in vitro tooth color changes. *Oper Dent.* 2024;49(3):336–44.

8. ŽIVOTOPIS S POPISOM RADOVA

ŽIVOTOPIS

Barbara Delija Omazić rođena je 22. travnja 1985. godine u Sjedinjenim Američkim Državama (Kalifornija, Santa Clara). Osnovnu školu kao i opću X. gimnaziju Ivan Supek završila je u Zagrebu. Diplomira na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2010. godine. Za vrijeme studija aktivno sudjeluje u kliničkom i znanstvenom radu. Pripravnički staž odrađuje u Stomatološkoj poliklinici Zagreb, nakon čega radi u nekoliko renomiranih privatnih stomatoloških poliklinika te upisuje poslijediplomski doktorski studij na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2013. godine. Specijalističko usavršavanje iz ortodoncije na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu počinje 2018. godine te polaže specijalistički ispit u travnju 2021. godine nakon čega nastavlja raditi u Stomatološkoj poliklinici Zagreb kao specijalist ortodoncije. Autorica je nekoliko znanstvenih radova i aktivno sudjeluje na znanstvenim i stručnim skupovima u Hrvatskoj i inozemstvu.

Publikacije:

i) Radovi objavljeni u časopisima u WoS Science Citation Indexu Expanded (WoS SCIE) - kvartil prema Journal Citation Reports (JCR)

1. Dukic W, **Delija B**, Lesic S, Dubravica I, Derossi D. Radiopacity of flowable composite by a digital technique. Oper Dent. 2013;38(3):299-308. (Q3)

ii) Radovi objavljeni u časopisima u drugim bazama (WoS ESCI, Scopus itd.)

1. **Delija Omazic B**, Bukovic D, Zagar M, Slaj M, Iles D. Assessment of tooth shade measurement precision and consistency with a digital photography calibration system. Acta Stomatol Croat. 2024;58(2):185-192. (Q3) *rad proizašao iz doktorskog istraživanja*
2. Dukic W, Juric H, Tambic-Andrasevic A, Kovacevic V, Lulic Dukic O, **Delija B**. The efficacy of gaseous ozone on some cariogenic bacteria. Colleg Antropol. 2013;37(1):109-113. (Q3)

iii) Sažetci s međunarodnih i domaćih kongresa

1. **Delija Omazić B**, Krhen F, Čalušić Šarac M. Correlation between extraoral measurements and personal experience in facial esthetics. 2021 52nd SIDO International Congress ; 18th AIDOR International Congress, 11-13. studenog 2021, Firenza, Italija (međunarodni, *oralna prezentacija rezultata doktorata*)
2. Čalušić Šarac M, Lapter-Varga M, **Delija Omazić B**. Oralno higijenske navike adolescenata tijekom terapije fiksnim ortodontskim napravama. 2021 7. Međunarodni kongres Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 21-22. svibnja 2021, Rovinj, Hrvatska (međunarodni)
3. **Delija Omazić B**, Illeš D. Pouzdanost fotografije prilikom određivanja boje zuba- pilot istraživanje. 2018 4. Međunarodni kongres Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2-3. ožujka 2018, Zagreb, Hrvatska (međunarodni, *oralna prezentacija rezultata doktorata; za najbolju poster prezentaciju-3.mjesto*)
4. **Delija Omazić B**, Illeš D. Parametri ponovljivosti mjerenja boje puti - pilot istraživanje. 2017 3. Međunarodni kongres Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 3-4. ožujka 2017, Zagreb, Hrvatska (međunarodni, *oralna prezentacija rezultata doktorata*)
5. Illeš D, **Delija B**, Alajbeg I, Žagar M, Knezović Zlatarić D. Meta analiza boje, oblika i veličine centralnih maksilarnih sjekutića. 2015 1. Međunarodni kongres Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 20-21. ožujka 2015, Zagreb, Hrvatska (međunarodni, *oralna prezentacija rezultata doktorata*)

PRILOG 1.

INFORMIRANI PRISTANAK ZA SUDJELOVANJE U ISTRAŽIVANJU

Naslov istraživanja: Utjecaj parametara oblika i boje gornjih prednjih zuba na estetiku lica

Istraživanje se provodi na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Gundulićeva 5, Zagreb

Ime i prezime voditelja istraživanja: Barbara Delija Omazić, dr. med. dent.

Poštovani,

Pozivamo vas da u svojstvu ispitanika sudjelujete u znanstvenom istraživanju u kojem se ispituje utjecaj mjera lica, zuba te boja tena i bjeloočnica na estetiku lica. Želimo da sudjelujete jer ste u dobnoj skupini od 19 do 25 godina. Voditeljica istraživanja je doktorica dentalne medicine Barbara Delija Omazić koja ovo istraživanje provodi u svrhu izrade svog doktorskog rada na Poslijediplomskom studiju Dentalne medicine Sveučilišta u Zagrebu.

Molimo vas pažljivo pročitajte ovaj Informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju u kojem se objašnjava zašto se ispitivanje provodi.

Podaci o istraživanju:

Istraživanje se sastoji od dva dijela. Prvi se sastoji od mjerenja vanjskih proporcija glave ispitanika kao i njegovih središnjih gornjih sjekutića pomoću mjerki i kalipera te fotografiranja ispitanika u standardiziranim uvjetima (dvije fotografije – sa i bez držača obraza) kao i određivanje boje središnjeg desnog gornjeg sjekutića pomoću dentalnog spektrofotometra. Drugi dio provodit će se na učinjenim fotografijama na kojima će se mjeriti boja tena, boja bjeloočnica, boja zuba te mjere lica na određenim točkama. Postoji samo jedna skupina ispitanika u kojoj će biti svi koji odgovaraju parametrima uključivanja u ovo istraživanje.

Za ispitanika sudjelovanje u istraživanju podrazumijeva jedan susret u prostoriji fakulteta u kojoj se nalaze standardizirani uvjeti za fotografiranje. Susret traje desetak minuta uz ispunjavanje upitnika. Ovo istraživanje ne uključuje nikakav rizik ni neugodnost za ispitanika. Korist od ovog istraživanja nakon završenog doktorskog rada bit će vidljiva za doktore dentalne medicine u praktičnom smislu jer će dobivati lakši i bolji uvid u parametre estetike lica, a i rezultati će istraživanja biti korišteni i u svrhu objave znanstvenih i kongresnih radova. Osobni podaci kao i svi materijali bit će korišteni samo u ovom istraživanju te za njihovu povjerljivost odgovara voditelj istraživanja.

U slučaju da ne razumijete bilo koji dio sadržaja informiranog pristanka, molimo vas da se za objašnjenje obratite ispitivaču u istraživanju. Vaše je sudjelovanje u ovom ispitivanju dobrovoljno i možete se u bilo kojem trenutku povući.

Ako odlučite sudjelovati u ovom istraživanju, od vas će se tražiti da potpišete informirani pristanak uz naznaku datuma. Informirani pristanak potpisuje i ispitivač, a potpisanu presliku pristanka dobit ćete osobno prije početka navedenog istraživanja. Original informiranog pristanka nalazi se kod istraživača ovog ispitivanja. Liječnik ispitivač koji provodi ovo istraživanje neće primiti nikakvu financijsku naknadu.

Ovo istraživanje odobrilo je Etičko povjerenstvo Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Za dodatna pitanja o samom istraživanju možete se obratiti voditeljici istraživanja Barbari Deliji Omazić putem e-maila delijabarbara@gmail.com.

Svojim potpisom potvrđujem da sam informiran/a o ciljevima, prednostima i rizicima ovog istraživanja i pristajem u njemu sudjelovati.

U Zagrebu, _____ (datum). _____

Potpis sudionika

Potpis voditelja istraživanja

Ja, liječnica istraživačica, potvrđujem da sam usmeno pružila potrebne informacije o ovom ispitivanju i dala presliku informiranog pristanka potpisanu od strane ispitanika i istraživača _____
Potpis voditeljice istraživanja (Barbara Delija Omazić, dr. med. dent.)

PRILOG 2.

PROTOKOL ISTRAŽIVANJA

Utjecaj parametara oblika i boje gornjih prednjih zuba na estetiku lica

A) Mjerenja na ispitaniku *in vivo*

1. Ispitanik ispunjava upitnik s općim podacima i potpisuje informirani pristanak
2. Određivanje BMI (mjerenje kilaže pomoću digitalne vage i visine pomoću statičnog metra postavljenog na zidu laboratorija za ispitivanje)
3. Selekcija i isključivanje ispitanika prema kriterijima istraživanja
4. Pozicioniranje ispitanika
5. Fotoaparatom Nikon 5100 na stalku na udaljenosti 1,5 metara od ispitanikovog lica, bez bljeskalice učine se tri fotografije pod umjetnom rasvjetom prema CIE standardu
6. Prva fotografija – lice u zagrizu bez držača obraza i bez bljeskalice; druga fotografija – u zagrizu s držačem obraza bez bljeskalice; treća fotografija – u zagrizu s držačem obraza s bljeskalicom
7. Određivanje boje središnjeg desnog gornjeg sjekutića pomoću dentalnog spektrofotometra Vita Easyshade Advance 5.0, mjerenje se provodi tri puta uzastopce i upisuju se rezultati mjerenja
8. Mjerenje kaliperom i pomičnom mjerkom određenih mjera na licu ispitanika na nekoliko točaka
9. Određivanje boje tena pomoću reducirane Fitzpatrickove skale

B) Mjerenja na fotografijama

1. Antropometrijska mjerenja ekstraoralnih točki na licu i indeksa proporcija lica
2. Mjerenje dužine i širine središnjih gornjih sjekutića
3. Određivanje L^* , a^* i b^* vrijednosti za točku Glabella na licu pomoću softvera Adobe Photoshop; svaka vrijednost izmjerena je tri puta uzastopce i upisana u tablicu
4. Određivanje L^* , a^* i b^* vrijednosti na desnoj bjeloočnici pomoću softvera Adobe Photoshop; svaka vrijednost izmjerena je tri puta uzastopce i upisana u tablicu
5. Određivanje L^* , a^* i b^* vrijednosti na središnjem gornjem desnom sjekutiću pomoću softvera Adobe Photoshop; svaka vrijednost izmjerena je tri puta uzastopce i upisana u tablicu.

PRILOG 3.

Google Forms

NASLOV ISTRAŽIVANJA:

UTJECAJ PARAMETARA OBLIKA I BOJE GORNJIH PREDNJIH ZUBA NA ESTETIKU LICA

Istraživanje se provodi na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Gundulićeva 5, Zagreb

Ime i prezime voditeljice istraživanja: Barbara Delija Omazić, dr.med.dent.

1. Faktori ukljuživosti u istraživanje – ISPUNJAVA ISPITANIK:

1. Jeste li ikada nosili ortodontski aparatić (fiksni ili mobilni)? *

DA

NE

2. Jeste li imali bilo kakav estetski ili korektivni zahvat na licu (operacija nosa ili brade, povećanje usnica ili obraza, ubrizgavanje hijaluronskih filera ili botoxa, izbjeljivanje zubi i sl...)? *

DAv

NE

3. Imate li bilo kakav protetski nadomjestak u području prednjih gornjih zubi – jedinice, dvojke i trojke – (krunice, mostove, proteze, implantate itd.)? *

DA

NE

4. Imate li bilo kakav ekstenzivni protetski nadomjestak (više od 1 krunice, 3-članog mosta ili 1 implantata) u ustima, gornjoj ili donjoj čeljusti (krunice, mostove, proteze, implantate itd.) u stražnjoj regiji? *

DA

NE

2. OPĆE INFORMACIJE O PACIJENTU/ANTROPOMETRIJSKA I SPEKTROFOTOMETRIJSKA MJERENJA – ISPUNJAVA ISPITIVAČ

Ovaj upitnik sastavljen je kako bi se prikupile opće informacije o ispitanicima koji zadovoljavaju kriterije uključivosti u istraživanje te antropometrijska i spektrofotometrijska mjerenja ispitanika u istraživanjima u području dentalne medicine.

1. Šifra ispitanika:

2. Šifra istraživanja:.....

3. Dob:

4. Spol: muško

žensko

ne želim se izraziti

5. Težina u kg:

6. Visina u cm:

7. Klasa okluzije po Angleu:

1. klasa I

2. klasa II/1

3. klasa II/2

4. klasa III

8. Zadovoljava li ispitanik kriterije uključivosti u istraživanje?

DA

NE

9. ŠIRINA 11:

Širina 11 (1.)

Širina 11 (2.)

Širina 11 (3.)

10. DULJINA 11:

Duljina 11 (1.)

Duljina 11 (2.)

Duljina 11 (3.)

11. Boja 11 (spektrofotometar) (1.) *

1. *L* *

1. *a* *

1. *b* *

12. Boja 11 (2.) *

2. *L* *

2. *a* *

2. *b*

13. Boja 11 (3.) *

3. *L* *

3. *a* *

3. *b* *

14. Udaljenost Tr – N:

15. N – Sn *

16. Sn – Gn *

17. Zy – Zy *

18. Boja tena:

1. svijetla

2. srednja

3. tamna

19. Snimka bez držača (BROJ NA SD KARTICI)

20. Snimka s držačem i karticom

21. Snimka frontalno s držačem i karticom FLASH

PRILOG 4.

Upitnik za određivanje Fitzpatrickova fototipa kože (za potrebe znanstvenog istraživanja doktorske disertacije na temu: Utjecaj parametara oblika i boje gornjih prednjih zuba na estetiku lica – Barbara Delija Omazić, dr. med. dent.)

Ime i prezime ispitanika: _____

Šifra ispitanika: _____

Datum ispunjavanja: _____

Sljedeći upitnik sastavni je dio znanstvenog istraživanja čiji je cilj procjena fototipa kože ispitanika. Prikupljeni podaci koristit će se isključivo u istraživačke svrhe te će se obrađivati anonimno, u skladu s važećim etičkim načelima i propisima o zaštiti osobnih podataka.

Procjena fototipa kože provedena je primjenom reducirane Fitzpatrickove klasifikacije, ograničene na fototipove I – III, koji su najčešće zastupljeni u populaciji europskog podrijetla. Redukcija skale provedena je radi metodološke jasnoće i veće homogenosti ispitivanog uzorka jer fototipovi IV – VI nisu bili zastupljeni u ovom istraživanju.

Fototip kože određuje se na temelju reakcije kože na izlaganje ultraljubičastom (UV) zračenju. Pri interpretaciji rezultata uzima se u obzir da nedavno izlaganje suncu, korištenje solarija ili primjena preparata za samotamnjenje mogu privremeno utjecati na procjenu boje kože.

Molimo ispitanike da na pitanja u upitniku odgovore što točnije kako bi se osigurala pouzdana i metodološki utemeljena procjena fototipa kože.

Tablica 1.

Pitanje/Bodovi	0	1	2	3	4
Boja očiju	Svijetloplave, sive, zelene	Plave, sive ili zelene	Plave	Tamnosmeđe	Smeđe – crne
Prirodna boja kose	Pješčanoplava, crvena	Plava	Kestenjasta / tamnoplava	Tamnosmeđa	Crna
Boja kože na nezaštićenim dijelovima	Crvenkasta	Vrlo svijetla	Blijeda s bež tonom	Svjetlosmeđa	Tamnosmeđa
Pjege na nezaštićenim dijelovima kože	Brojne	Više	Nekoliko	Povremene	Nema

Tablica 2.

Pitanje / Bodovi	0	1	2	3	4
Reakcija na dugotrajno izlaganje suncu	Bolno crvenilo, mješurici, ljuštenje	Mješurici praćeni ljuštenjem	Ponekad izgori, zatim se ljušti	Rijetko izgori	Nikada ne izgori
Stupanj tamnjenja kože	Jedva ili nikako	Blago tamni	Umjereno tamni	Lako tamni	Brzo potamni
Tamnjenje unutar nekoliko sati nakon izlaganja	Nikada	Rijetko	Ponekad	Često	Uvijek
Reakcija kože lica na sunce	Vrlo osjetljiva	Osjetljiva	Normalna	Vrlo otporna	Nikada nije bilo problema

Tablica 3.

Pitanje / Bodovi	0	1	2	3	4
Vrijeme posljednjeg izlaganja suncu ili UV izvorima	Prije više od 3 mjeseca	Prije 2-3 mjeseca	Prije 1-2 mjeseca	Prije manje od 1 mjeseca	Prije manje od 2 tjedna
Izlaganje ispitivanog područja suncu	Nikada	Jedva ikada	Povremeno	Često	Uvijek

Ukupan broj bodova – genetska predispozicija: _____

Ukupan broj bodova – reakcija na sunce: _____

Ukupan broj bodova – navike izlaganja: _____

UKUPNI REZULTAT (Skin Type Score): _____

Ukupan rezultat	Fitzpatrickov fototip
0 – 7	I svijetli ten
8 – 16	II srednji ten
17 – 25	III tamni ten