

Digitalna procjena razlike u boji prirodnih zuba izmjerene spektrofotometrom i pametnim telefonom uz uporabu Smile Lite Mobile Dental Photography osvjetlivača

Soldo, Mirko

Doctoral thesis / Disertacija

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:127:346426>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb School of Dental Medicine Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Mirko Soldo

**DIGITALNA PROCJENA RAZLIKE U
BOJI PRIRODNIH ZUBA IZMJERENE
SPEKTROFOTOMETROM I PAMETNIM
TELEFONOM UZ UPORABU *SMILE LITE*
MOBILE DENTAL PHOTOGRAPHY
OSVJETLJIVAČA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Mirko Soldo

**DIGITALNA PROCJENA RAZLIKE U
BOJI PRIRODNIH ZUBA IZMJERENE
SPEKTROFOTOMETROM I PAMETNIM
TELEFONOM UZ UPORABU *SMILE LITE*
MOBILE DENTAL PHOTOGRAPHY
OSVJETLJIVAČA**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

Prof.dr.sc. Dubravka Knezović Zlatarić

Zagreb, 2021.



University of Zagreb

School of Dental Medicine

Mirko Soldo

**DIGITAL EVALUATION OF THE
DIFFERENCE IN COLOR OF NATURAL
TEETH MEASURED WITH A
SPECTROPHOTOMETER AND A
SMARTPHONE USING *SMILE LITE*
MOBILE DENTAL PHOTOGRAPHY
ILLUMINATOR**

DOCTORAL DISSERTATION

Zagreb, 2021

Prikupljanje ispitanika i snimanje fotografija provedeno je na Zavodu za mobilnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Dio aparature korištene za ovo istraživanje financiran je sredstavima Sveučilišne potpore 2017.-2020. godine pod voditeljstvom prof. dr. sc. Dubravke Knezović Zlatarić.

Lektorica hrvatskog jezika: Mirjana Blažičko, mr. educ. hrvatskog jezika i književnosti

Lektorica engleskog jezika: Tea Subašić, prof. engleskog i španjolskog jezika

Sastav Povjerenstva za ocjenu doktorskog rada:

1. Prof. dr. sc. Asja Čelebić, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
2. Doc. dr. sc. Davor Illeš, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
3. dr. sc. Nazif Demoli, Institut za fiziku
4. Doc. dr. sc. Danijela Marović, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
5. Prof. dr. sc. Ketij Mehulić, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Sastav Povjerenstva za obranu doktorskog rada:

1. Prof. dr. sc. Asja Čelebić, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
2. Doc. dr. sc. Davor Illeš, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
3. dr. sc. Nazif Demoli, Institut za fiziku
4. Doc. dr. sc. Danijela Marović, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
5. Prof. dr. sc. Ketij Mehulić, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Datum obrane rada: 2021. godine

Rad sadrži: 141 stranica
 35 slika
 30 tablica
 1 CD

Rad je vlastito autorsko djelo, u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, fotografije i dr.) u radu izvorni su 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 svojoj mentorici prof. dr. sc. Dubravki Knezović Zlatarić na ideji, savjetima i nesebičnoj pomoći bez koje ovaj rad ne bi bio moguć.

Zahvaljujem prof. dr. sc. Silvani Jukić Krmek zahvaljujući čijem je strpljenju, znanju i motivaciji još u studentskim danima rođena ljubav prema znanosti.

Zahvaljujem svim sudionicima istraživanja te medicinskim sestrama sa Zavoda za mobilnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu koje su pomogle u sterilizaciji materijala potrebnog za provedbu istraživanja.

Sažetak

DIGITALNA PROCJENA RAZLIKE U BOJI PRIRODNIH ZUBA IZMJERENE SPEKTROFOTOMETROM I PAMETNIM TELEFONOM UZ UPORABU *SIMLE LITE MOBILE DENTAL PHOTOGRAPHY* OSVJETLJIČAVA

Svrha istraživanja bila je usporediti razlike u vrijednostima triju parametara boje gornjih desnih središnjih sjekutića izmjerenih spektrofotometrom, te kalibriranih i nekalibriranih RAW i JPEG formata fotografija snimljenih trima pametnim telefonima koristeći Smile Lite MDP uređaj.

U istraživanju je sudjelovalo ukupno 45 ispitanika. CIE L*a*b* vrijednosti na središnjoj trećini gornjih desnih središnjih sjekutića izmjerene su spektrofotometrom i na RAW i JPEG kalibriranim i nekalibriranim fotografijama snimljenima trima različitim pametnim telefonima u različitim uvjetima osvjetljenja te sivom kalibrirajućom karticom. Boja zuba na fotografijama mjerena je u kompjuterskom programu Adobe Lightroom 6. Dobiveni rezultati su međusobno uspoređeni. Većina CIE L*a*b* vrijednosti na RAW i JPEG fotografijama na sva tri testirana pametna telefona u različitim uvjetima osvjetljenja statistički su se značajno razlikovale ($p < 0,05$). Razlika u većini CIE L*a*b* vrijednosti boje između kalibriranih i nekalibriranih fotografija na sva tri pametna telefona bila je statistički značajna ($p < 0,05$). CIE L*a*b* vrijednosti kalibriranih i nekalibriranih RAW i JPEG fotografija svih triju testiranih pametnih telefona statistički su se značajno razlikovale ($F=29.780$; $p=0.000$). CIE L*a*b* vrijednosti na nekalibriranim RAW fotografijama snimljenima iPhone 11 Pro pametnim telefonom uz uporabu polarizacijskog filtera potpuno su se poklapale s istim vrijednostima izmjerenima spektrofotometrom ($p > 0.05$).

Različiti uvjeti osvjetljenja, postupci mjerenja, format fotografije i vrsta pametnog telefona u ovom su istraživanju utjecali na CIE L*a*b* vrijednosti na fotografijama snimljenima pametnim telefonom. Uz ograničenja ovog istraživanja moguće je zaključiti da bi se nekalibrirana RAW fotografija snimljena iPhone 11 Pro pametnim telefonom, s polarizirajućim filterom na prednjem diodnom svjetlu u standardiziranim uvjetima, mogla koristiti pri digitalnom određivanju boje zuba.

Ključne riječi: boja zuba, spektrofotometar, dentalna fotografija, pametni telefon, Smile Lite MDP

Summary

DIGITAL EVALUATION OF THE DIFFERENCE IN COLOR OF NATURAL TEETH MEASURED WITH A SPECTROPHOTOMETAR AND A SMARTPHONE USING *SMILE LITE MOBILE DENTAL PHOTOGRAPHY* ILLUMINATOR

Introduction: For many years dental professionals have been using dental photography for diagnostic and treatment planning, documentation, publishing, education, marketing and communication with patients, dental technicians and colleagues. More recently, dental photography became very important for detecting facial pattern changes after orthodontic treatment, maxillofacial surgery, prosthetic oral rehabilitation and digital smile planning. Digital Single Lens Reflex (DSLR) cameras are considered as the “golden standard” cameras used to take high quality dental photographs. Past few years smartphone cameras have advanced in terms of sensor quality, resolution and lens sophistication and mobile dental photography is becoming more and more popular among dentists. Digital shade measurement determining tooth color was developed in order to reduce and overcome the inaccuracies and inconsistencies of traditional methods of tooth shade determination. Studies have shown that spectrophotometers are among the most accurate instruments for tooth color matching. Spectrophotometer Vita Easyshade V has become a reference device for determining tooth color in numerous clinical studies and has been used to determine the color of various dental materials. Numerous studies have confirmed the accuracy and repeatability of color measurements of these devices.

Aim: The purpose of the study was to compare the differences in the values of the three color parameters of the upper right central incisors measured by a spectrophotometer, and calibrated and uncalibrated RAW and JPEG digital photos taken with three smartphones using a Smile Lite MDP device.

Participants and methods:

The study was conducted on 45 subjects. This study included those subjects with intact permanent upper central incisor without fillings and caries, endodontic procedures and prosthetic replacements, the presence of periodontal disease or any form of discoloration, and those who do not have fixed orthodontic retainers and have not undergone teeth whitening therapy for a year. The measurement took place in the research room without the natural light source (no windows), with fluorescent lighting (4 x 120 cm, 36 W, color 765, Philips, Hamburg, Germany), light temperature of 5080 K and illuminance of 500 lux measured using colorimeter

Chroma-2. At each measurement infection control shield was placed over the probe tip when using Easyshade V spectrophotometer set in “tooth single” mode. The probe tip was positioned on the surface of the central area of the middle third of each right maxillary central incisor and this position was marked using a red waterproof marker to ensure later accurate positioning of the digital probe. Before each measurement the device was calibrated according to the manufacturer's instructions.

All subjects were photographed in a standing upright position leaning against a wall with a retractor placed in their mouth. Subjects held a grey card under the upper front teeth when photographing, which serves as a color calibrator in digital image analysis. All photographs in this study were taken using a Smile Lite Mobile Dental Photography device. The Smile Lite MDP device was equipped with three different smartphones for photographing front teeth. Each time the smartphones in the device were replaced, the subjects had their retractor removed from their mouths to prevent dehydration. A total of 30 different photos in two formats (RAW and JPEG) were made for each participant, 15 for each photo format.

All photos were imported to the computer program Adobe Photoshop Lightroom 6. All the photos were measured two times, once with and once without special calibration using gray card on the picture. For calibration white balance of each photo had to be carried out using the measurement probe placed on one of four gray segments on the card while adjusting image exposure balance by setting lightness (L^*) at 75*, and a^* and b^* values at 0* on histogram. Then the measurement of CIE $L^*a^*b^*$ values on the tooth were conducted setting the measurement probe right in the middle of the red circle marked previously on each maxillary right central incisor. When measuring with no calibration the measurement of CIE $L^*a^*b^*$ values on the tooth were conducting immediately on the tooth, avoiding previous calibration of the grey scale.

Results: Most CIE $L^*a^*b^*$ values on RAW and JPEG photographs on all three tested smartphones in different lighting conditions were statistically significantly different ($p < 0.05$). The difference in most CIE $L^*a^*b^*$ color values between calibrated and uncalibrated photographs on all three smartphones was statistically significant ($p < 0.05$). CIE $L^*a^*b^*$ values of calibrated and uncalibrated RAW and JPEG photos between all three tested smartphones differed statistically significantly ($F = 29.780; p = 0.000$). The CIE $L^*a^*b^*$ values on uncalibrated RAW photos taken with an iPhone 11 Pro smartphone using a polarizing filter completely matched the same values measured by the spectrophotometer ($p > 0.05$).

Conclusions: Different lighting conditions, measurement procedures, and photo format in this study influenced the CIE L*a*b* values on smartphone photos. With the limitations of this research, it can be concluded that an uncalibrated RAW photo taken by an iPhone 11 Pro smartphone taken with a polarizing filter on the front LED light could be used in digitally determined tooth color under standardized conditions.

Keywords: tooth color, spectrophotometer, dental photography, smartphone, Smile Lite MDP

SADRAŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Povijesni razvoj fotografije	4
1.1.1. Razvoj fotoaparata.....	9
1.1.2. Pojava i razvoj digitalne fotografije	11
1.2. Set dentalne fotografije.....	12
1.3. Primjena fotografije u dentalnoj medicini	15
1.4. Primjena pametnih telefona u dentalnoj medicini	17
1.4.1. Smile lite mobile dental photography uređaj	19
1.5. Boja.....	20
1.6. Boja zuba	24
1.6.1. Percepcija boje zuba.....	26
1.7. Metode određivanja boje zuba.....	28
1.7.1. Klasično (konvencionalno ili vizualno) određivanje boja.....	29
1.7.2. Digitalno (instrumentalno) određivanje boje	31
2. CILJEVI I HIPOTEZE.....	35
3. ISPITANICI I POSTUPCI.....	37
3.1. Ispitanici	38
3.2. Materijali	38
3.3. Postupci	38
3.3.1. Mjerenje boje spektrofotometrom.....	38
3.3.2. Mobile dental photography set-up protokol.....	40
3.3.3. Analiza fotografija	46
3.4. Etičnost istraživanja i sukob interesa.....	49
3.5. Statistička analiza	49
4. REZULTATI.....	51
4.1. Određivanje veličine uzorka.....	52

4.2. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	53
4.3. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	55
4.4. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	58
4.5. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	62
4.6. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	65
4.7. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	67
4.8. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja	69
4.9. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja	71
4.10. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	73
4.11. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	76
4.12. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	78
4.13. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja	82
4.14. Usporedba kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW i JPEG fotografijama u 3 različita osvjetljenja triju pametnih telefona	85
4.15. Usporedba nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW i JPEG fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja triju mobilnih uređaja	85

4.16. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW i JPEG fotografijama u 5 različitih osvjetljenja snimljenima svim trima mobilnim uređajima i spektrofotometrijski izmjerenih $L^*a^*b^*$ u ustima pacijenta	91
5. RASPRAVA.....	97
6. ZAKLJUČCI	119
7. LITERATURA.....	121
8. ŽIVOTOPIS	139

POPIS KRATICA

MDP – eng. Mobile Dental Photography

LCD – eng. liquid crystal display

SLR – refleksna kamera s jednim objektivom (eng. single-lens reflex)

DSLR – digitalna refleksna kamera s jednim objektivom (eng. digital single-lens reflex)

CCD – eng. charge-coupled device

CMOS – eng. complementary metal-oxide semiconductor

DCS – digitalni sistem kamere (eng. digital camera system)

MP – megapiksel (eng. megapixel)

K – Kelvin, mjerna jedinica za temperaturu boje

nm – nanometara

L –svjetlina boje (eng. luminance)

C –intenzitet boje (eng. chroma)

h –ton boje (eng. hue)

CIE – fran. Commission Internationale de L'Eclairage

a – oznaka za dimenziju boje smještenu na x osi, pozitivan vrijednosti ukazuje na crvenu, a negativan na zelenu boju

b – oznaka za dimenziju boje smještenu na y osi, pozitivan vrijednosti ukazuje na žutu, a negativne na plavu boju

ΔE – delta E oznaka za razliku u boji

RGB – eng. red green blue

IOS – intraoralni skener (eng. intraoral scanner)

RAW – naziv za format fotografije

JPEG – naziv za format fotografije

ISO – osjetljivost senozora kamere na svjetlo, jedna od postavki kamere

WB – balans bijele boje, jedna od postavki kamere (eng. white balance)

f – otvor blende ili aperture

SS –brzina okidača kamere, jedna od postavki kamere (eng. shutter speed)

F – frontalno svjetlo

L – laterlano svjetlo

D - difuzor

P – polarizacijsko osvjetljenje

H – hibirdno osvjetljenje

LED – svjetleća dioda (eng. Light Emitting Diode)

ANOVA – analiza varijance (eng. analysis of variance)

MANOVA – multivarijantna analiza varijance (eng. multivariate analysis of variance)

$\bar{x}$ – srednja vrijednost

SD – standardna devijacija

p – značajnost razlike

df – stupanj slobode

1. UVOD

Utjecaj napretka digitalne tehnologije vidljiv je u različitim područjima današnjice. Dentalna medicina je neizostavni primjer medicinske struke u kojoj se različiti oblici digitalne tehnologije sve više koriste u svakodnevnoj kliničkoj i znanstvenoj praksi (1). Jedna od njih svakako je digitalna dentalna fotografija. Postoje brojni razlozi zbog kojih je digitalna dentalna fotografija danas postala neizostavni dio svakodnevne prakse. Primarni je razlog početka njezine primjene medicinska dokumentacija kliničkog stanja usne šupljine. S vremenom se proširila u svrhu dijagnostike, planiranja terapije, praćenja početka, tijeka i završetka terapije, komunikacije s pacijentom, dentalnim tehničarom, kolegama i drugim osobljem klinike, publiciranja i edukacije (kongresi, predavanja, poster prezentacije) te oglašavanja (2). Iako nam se možda na prvu čini da je fotografija u dentalnu medicinu ušla tek unazad dvadesetak godina razvojem digitalne tehnologije, detaljnijim proučavanjem literature možemo naići na podatke da je prva primjena fotografije u dentalnoj medicini zabilježena još davne 1840. godine kada je otvorena prva dentalna škola (3). Razvoj ortodoncije početkom 20. stoljeća pridonio je većoj primjeni fotografije u dentalnoj medicini zbog važnosti praćenja početka, tijeka i završetka terapije. Tako je Charles Tweed, učenik Edwarda Hartleyja Anglea, oca moderne ortodoncije, 30-ih i 40-ih godina prošlog stoljeća vrijedno skupljao podatke o svojim radovima s početka i kraja terapije te fotografije izlagao na znanstvenim skupovima u SAD-u kako bi znanstvenoj zajednici i kolegama pokazao rezultate svoga rada (4). Od samih početaka do danas napredak u razvoju fotografije učinio je fotografiju dostupnijom i praktičnijom široj populaciji. To se dogodilo posebno devedesetih godina prošlog stoljeća razvojem digitalne fotografije. Ona je u vrlo kratkom roku posve istisnula primjenu klasične analogne fotografije koja je koristila film kao zapis (5). Kako bi se povećala kvaliteta slike koja je bila neizmjenjivo važna, osobito u dentalnoj medicini radi točnog prikaza boje i detalja, zahtijevala je osim digitalnog fotoaparata cijeli niz dodatne opreme kojom bi se poboljšala kvaliteta slike (6,7,8). Naime, kvalitetna dentalna fotografija tehnički je vrlo zahtjevana zbog specifičnosti objekta koji se fotografira, a to je usna šupljina. Nedostupnost, vlažnost i mračnost područja fotografiranja, poput usne šupljine, kompromitira samu kvalitetu fotografije (9). Zbog svega se navedenoga osnovni paket za dobivanje kvalitetne dentalne fotografije osim digitalnog fotoaparata sastojao od različitih objektiva, osvjetljiivača (ring flash, point flash, twin flash) i dodatnih rasvjetnih tijela kojima bi se poboljšala kvaliteta fotografije (6,7,8). Sve je to dodatno podizalo cijenu samog uređaja da bi se postigla kvalitetnija fotografija, što je svakako bila jedna od njegovih mana jer sam fotoaparat nije bio dovoljan za postizanje zadovoljavajuće kvalitete fotografije. Drugi je nedostatak bila velika i teška oprema, nepraktična za nošenje i fotografiranje pacijenta na

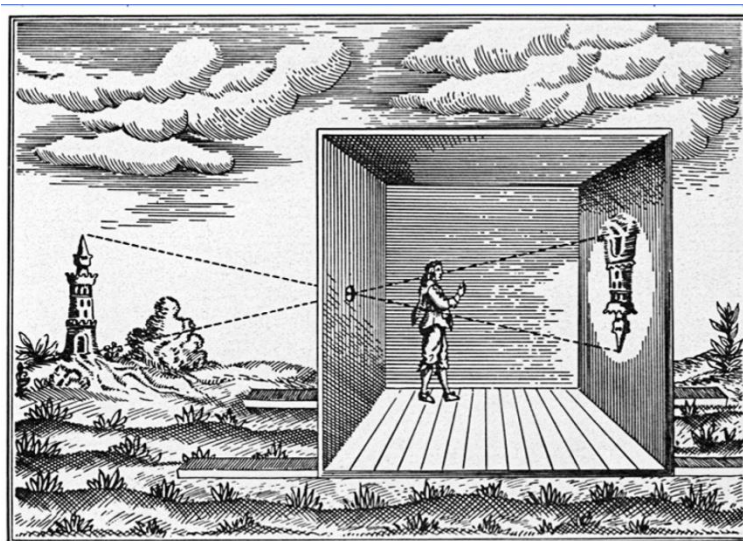
stomatološkoj stolici. Dalji razvoj tehnologije, naročito pametnih telefona, prouzročio je postupno istiskivanje digitalnih fotoaparata iz svakodnevne primjene. Prednosti pametnih telefona u odnosu prema digitalnim fotoaparatima bile su svakako veličina, cijena i praktičnost. Napretkom u kvaliteti njihove kamere, počeli su se postupno uvoditi u svakodnevnu praksu u dentalnoj medicini, a prednost su im bile dostupnost i jednostavnost upotrebe. Nisu zahtijevali skupu dodatnu opremu, a prijenos podataka nikada nije bio brži i jednostavniji (10). Istraživanje de Almeida Geraldina i sur. dokazalo je mogućnost primjene pametnih telefona u dijagnostici traumatskih ozljeda tvrdih zubnih tkiva (11), dok su Kohara i sur. dokazali mogućnost dijagnosticiranja karijesnih lezija koristeći fotografije snimljene pametnim telefonom (9). Signori i sur. u svome su istraživanju dokazali mogućnost korištenja dentalne fotografije kao indirektne dijagnostičke metode za procjenu stanja i kvalitete zubnih restauracija, naročito na stražnjim zubima (12). Mogućnost primjene digitalnih fotoaparata za određivanje boje dokazali su Tam i Lee u svome istraživanju (13). Sampaio i sur. uspoređivali su kvalitetu fotografija dobivenih digitalnim fotoaparatom Nikon Corp D7000 i pametnim telefonom iPhone 7. U navedenom se istraživanju digitalni fotoaparat pokazao boljim izborom od pametnog telefona (14). Liu i sur. dokazali su da Smile Lite Mobile Dental Photography (MDP) u kombinaciji s pametnim telefonom može koristiti u svakodnevnom kliničkom radu te da je kvaliteta fotografije jednaka kao i ona snimljena digitalnom kamerom (15). Pretraživanjem nama dostupne literature utvrdili smo da nedostaje radova koji bi potvrdili mogućnost primjene Smile Lite MDP i pametnih telefona u svakodnevnoj kliničkoj praksi za izradu kvalitetne fotografije i njezino korištenje kao metode za određivanje boje zuba pri izradi estetskih nadomjestaka u dentalnoj medicini. Budući da pacijenti modernoga doba imaju sve više estetske zahtjeve, naglo raste i potreba za što kvalitetnijom fotografijom. U estetskoj dentalnoj medicini boja zuba predstavlja vrlo važan estetski parametar osmijeha i često je razlog nezadovoljstva pacijenta izgledom svojih zubi. Boja je osjetilni doživljaj koji nastaje kada zrake svjetlosti vidljivog spektra probude receptore u mrežnici ljudskog oka (16). O boji se na znanstvenoj razini počelo govoriti još 1666. godine kada je Isaac Newton došao do zaključka da su sve boje prisutne u sunčevom svjetlu otkrivši spektar boja (17). Na boju utječu izvor svjetla, površina objekta te vrsta materijala, ovisno o njihovim svojstvima apsorpcije, refleksije ili emisije svjetlosnog spektra. Svaki estetski nadomjestak koji se izrađuje u ustima pacijenta, među ostalim, mora biti i zadovoljavajuće boje koja će biti u skladu s ostalim estetskim parametrima. Pri planiranju estetskog stomatološkog zahvata važno je unaprijed odrediti njezine karakteristike. Stoga je neophodno da liječnik dentalne medicine poznaje osnovne karakteristike boje te tehnike njezina

određivanja u usnoj šupljini (16). Profesor Albert Munsell otkrio je osnovne karakteristike boje pa se njezina analiza danas po njemu i naziva Munsellovom. Njegova originalna teorija kaže da je boja sastavljena od triju različitih dimenzija – nijanse, svjetline i zasićenosti (18). U dentalnoj medicini zbog specifičnosti građe zuba, koji je građen od tri različite vrste tkiva: cakline, dentina i zubne pulpe, od kojih se svaki ponaša drugačije ovisno o prolasku svjetla kroz njih, dodan je pojam translucencije (19,20). Translucencija je optička pojava čiji se raspon kreće od potpunog opaciteta (nalik slonovači) do potpune transparencije (kao staklo) i predstavlja količinu svjetla koja prolazi kroz određenu strukturu, odnosno nije ni apsorbirana niti odbijena (21). Zubi, posebice incizalni bridovi prednjih zubi, karakterizirani su širokim rasponom efekata definiranih translucencijom (22). Ova je karakteristika boje zuba vrlo važna pri oblikovanju budućeg estetskog nadomjestaka kako bi se u potpunosti postigao njegov što prirodniji izgled (16). Važno je naglasiti kako ni pojedinačni zub ne posjeduje jedinstvenu boju i svaka se skupina zubi u čeljusti, ovisno o svojoj građi, veličini i debljini strukture, te položaja u zubnom luku, međusobno razlikuje (22,23). Zbog svega navedenog određivanje boje zuba u svakodnevnoj praksi, čak i za iskusnog kliničara, često može biti izazovno i nimalo jednostavan zadatak. Određivanje boje zuba s obzirom na vrstu postupka i alata kojim se služe stomatolog i dentalni tehničar, podijeliti na metodu konvencionalnog određivanja boje pomoću ključa boja te digitalnu metodu, pomoću spektrofotometra, kolorimetra ili digitalnim fotoaparatom (24,25). Obje metode ima svoje prednosti i nedostatke (26). Zbog toga se s vremenom počelo postavljati pitanje mogu li pametni telefoni posve zamijeniti digitalne fotoaparate u svakodnevnoj kliničkoj praksi u dentalnoj medicini u smislu postizanja jednake ili čak i bolje kvalitete fotografije te može li se na temelju digitalnih fotografija dobivenih pametnim telefonom točno odrediti vrijednosti svjetline, zasićenosti i nijanse boje zuba i mogućnost njihove primjene kao metode za odabir boje zube pri izradi estetskih restaurativnih i protetskih nadomjestaka.

1.1. Povijesni razvoj fotografije

Riječ fotografija dolazi od grčke riječi φως phos ("svjetlo") i γραφίς *graphis* ("crtanje") ili γραφή *graphê*, što bi u doslovnom prijevodu značilo „crtanje pomoću svjetla“ ili „pisanje svjetlom“. Zato se ponekad koristi domaća riječ za fotografiju - svjetlopis (27).

Smatra se da povijest fotografije počinje s pronalaskom fenomena *camera obscura* (lat. mračna soba ili kutija). Njeno otkriće potječe iz 5. st. pr. Kr. za vrijeme kineske dinastije Han, a pripisuje se kineskom filozofu Mo Dinu, koji ju prvi opisuje i spominje u svojoj knjizi „Mozi-jing xia“. Riječ je o pojavi u mračnoj prostoriji (ili kutiji) s malim otvorom kroz koji ulazi svjetlost i projicira sliku na suprotni zid. Isti fenomen opisuje Aristotel u 4. st. pr. Kr. te nakon njega mnogi drugi filozofi i matematičari u Europi i svijetu (28) (Slika 1.).



Slika 1. Camera obscura (preuzeto iz 35.)

Naziv *camera obscura* dao je čuveni Leonardo da Vinci (1452.-1519.) koji je, spustivši zastor na prozoru na zidu sobe, primijetio naglavce postavljenu sliku ulice, ocrtanu snopićem zraka sunca, koje je kroz rupicu poderanog zastora ulazio u sobu. Na slici su se micale sjene prolaznika. Potaknut time, učinio je kutiju, kao sobicu u malom, i na jednoj njenoj strani učinio malu je luknjicu (rupicu), a na suprotnoj strani nalijepio zamašćen papir, na kojem se ocrtavala slika svakog prolaznika i predmeta prema kojemu bi on usmjerio onu stranu kutije na kojoj je bila luknjica. Međutim projekcija slike na suprotnom zidu mogla se samo promatrati, ali ne i snimiti. Bez obzira na to, *camera obscura* smatra se pramajkom današnje fotografije (29).

Prvu crno-bijelu fotografiju proizveo je Joseph Niepce 1826. godine u Chalons-sur-Saone (Francuska) upotrebom osmosatne ekspozicije na kositrenoj ploči presvučenoj bitumenom i premazanom lavandinim uljem koje je služilo kao otapalo. Niepce je tu fotografiju nazvao „Pogled kroz prozor u La Grasu“ (Slika 2.). Niepce je još 1816. godine napisao: „Moram pronaći put da na neki način fiksiram boju, što me trenutno zaokuplja, a veoma je teško. Bez toga ništa drugo neće biti vrijedno“ (17). Niepce je takvim fotografijama načinjenima u kameri

i gravurama kopiranim postavljanjem na ploču dao ime *héliographie* (sunčev crtež) (30). Mnogim je pionirima fotografije crno-bijela slika predstavljala samo usputnu stanicu na putu do obojene (17).



Slika 2. Prva crno-bijela fotografija „Pogled kroz prozor u La Grasu“ (preuzeto iz 17.)

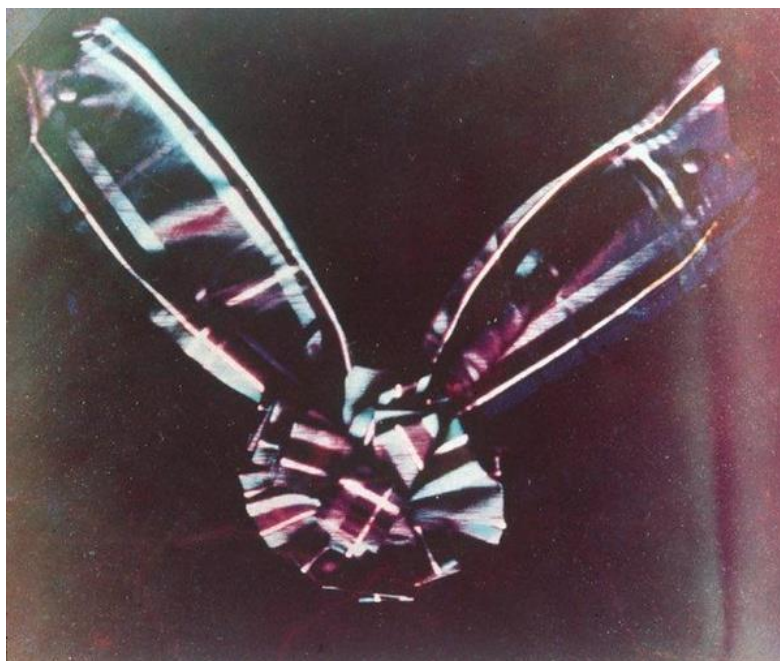
Joseph Niepce nakon nekoliko godina rada 1829. godine upoznaje francuskog slikara Luisa Daguerrea (1789-1851). U francuskim krugovima se govorilo da Luise Daguerre ima veliko znanje za objekte vezane uz razne naprave i efekte svjetla te da se bavi izučavanjem optičkih svojstava *camere obscurae*. To sve je ponukalo Josepha Niepcea da zatraži pomoć Luisa Daguerrea. Skupa su tražili najbolje i najpraktičnije rješenje za očuvanja fotografije, odnosno njezino fiksiranje. Nakon smrti Josepha Niepcea 1833. godine Louise Daguerre nastavlja raditi na razvoju fotografije, što je u konačnici dovelo do nastanka dagerotipije 1837. godine (31). On je prvi napravio fotografiju s ljudskim likom. Fotografija koju je Luise Daguerre snimio prikazuje pariški bulevar „Boulevard du Temple“. Trajanje ekspozicije prilikom snimanja tada je trajalo između 20-30 minuta. Zbog dugačkog vremenorskog perioda trajanja ekspozicije ona nije mogla prikazivati ništa što se kreće. Zbog toga su na fotografiji ostali vidljivi jedino čistač cipela i njegova mušterija koji su bili mirni dovoljno dugo. Ova Daguerrova fotografija je prvom fotografijom u povijesti na kojoj su vidljivi ljudi. (Slika 3.).



Slika 3. Fotografija L.Daguerre – pariška ulica „Boulevard du Temple“ (preuzeto iz 17)

Otkriće Luisa Daguerrea 07.01.1839. godine se smatra danom rođenja fotografije (28). Godine 1839. patent daguerrotipije kupila je francuska vlada, uz pomoć François Aragoa i Gay-Lussaca s argumentom „Ako pronalazak ostane u rukama pojedinca, postoji opasnost da će dugo vremena stajati na mjestu; objavljen, međutim bit će uskoro usavršen idejama drugih“ (32). U Engleskoj je za to vrijeme William Henry Fox Talbot razvio kalotipiju ili fotogeničko crtanje (30). Proces kalotipije temeljio na očuvanju fotografije na slanom papiru natopljenim spojem halogenog srebra. Na njemu bi nakon duge ekspozicije dobio negativ fotografije. Problem mu je bio što negativ nikako nije mogao zadržati trajnim, sve dok mu ideju o korištenju natrijeva tiosulfata nije iznio britanski astronom John Herschel. Talbot je na fiksirani negativ postavljao „slani papir“ i potom ga izlagao svjetlu. Ono što je dobio bio je pozitiv, a negativ je ostao očuvan i mogao se iznova upotrebljavati (33). Pozitiv je takvom procedurom nastajao pomoću fotogeničkog crtanja. Time se postiglo stvaranje više kopija jedne te iste fotografije, što će u budućnosti postati idejom za razvoj filma (30). Fotografije dobivene fotogeničnim crtanjem nisu se mogle mjeriti s onom dobivom dagerotipijom po kvaliteti, ljepoti i oštrini. Prilikom razvijanja negativa u pozitiv, dolazilo bi do gubitka vizualne svjetline odraza karakteristične za dagerotipiju. Ako izuzmemo samu kvalitetu, izum Williama Talbota krio je razvoj fotografije kakvu znamo danas. Njegov izum otvorio je put standardizaciji i komercijalizaciji fotografije, te doveo do njezine široke kulturne primjene (34).

Prva prava fotografija u boji prošla je gotovo nezapaženo. Nije ju napravio fotograf, nego škotski fizičar James Clark Maxwell. On je 1861. godine upotrijebio nova sredstva fotografiranja kako bi prikazao fizikalni zakon – da se sve boje mogu napraviti miješanjem triju primarnih boja. Ovaj je princip postao poznat kao aditivna sinteza. Maxwell i njegov pomoćnik Thomas Sutton odabrali su nacionalno obilježje, traku sa škotskim uzorkom koja je sadržavala tri primarne boje, za objekt prve fotografije u boji na svijetu. Napravili su tri odijeljena pozitivna dijapozitiva na koloidnim pločama. Zatim su te pozitive postavili zajedno s trima obojenim filterima u tri pažljivo postavljena projektora da bi dobili prvu povijesnu fotografiju u boji (Slika 4.) (17).



Slika 4. Prva fotografija u boji (preuzeto iz 17)

Za razvoju fotografije u boji važan je Francuz Louis Ducos du Hauron. On 70-ih godina 19.st. predloži tzv. suptraktivnu metodu. Kod ove metode pigmenti oduzimaju ili apsorbiraju sve boje osim svoje, koju reflektiraju. Koristio je ugljenim pigmentima s kojim je razvio pozitive od tri negativa za odvajanje ljubičastog, narančastog i zelenog filtra. Prilikom njihova slaganja jedan na drugi, dobivao je fotografiju u boji. Njegova najstarija očuvana fotografija u boji „Pogled na Agen“ potječe iz 1877. godine (32). Metoda aditivne sinteze ostaje baza svih oblika fotografije u boji sve do 1935. godine kada Kodak izbacuje na tržište prvi film u boji na 16 mm filmskoj traci nazvan Kodachrome (17).

1.1.1. Razvoj fotoaparata

Razvoj fotoaparata išao je paralelno s razvojem fotografije. Prve su fotografije snimljene *camerama obscurama*. One su bile rađene od drva, vrlo jednostavne, primitivne i glomazne. Koristeći vlažni kolodij mnogi su fotografi toga doba morali sa sobom vući kola ili fotografske komore na kočiji jer je oprema bila jako velika. Pojavom optičkih leća u konstrukciju *camera obscura* nastaju fotoaparati koji su bili mnogo manji i lakši. Pojava fotografskog filma krajem stoljeća riješio je nedostatak veličine i težine opreme. Na prijelazu stoljeća na tržištu su se nudile novi fotoaparati različitih dimenzija i oblika (30). Prvu kameru za „široku populaciju“ razvio je George Eastman 1900. godine, a zvala se Kodak. Eastman je izumio i fotografski film. U kameru je bio umetnut fotografski film i kad bi se u potpunosti iskoristio, kamera se morala slati u tvornicu firme Kodak, gdje je film potom bio razvijen, a u kameru postavljen novi film (35). Kasnije su korisnici mogli stavljati film u fotoaparata sami i nije se morao aparat nositi u tvornicu na razvijanje što je olakšalo samu proceduru. 1914. godine razvijena je Leica kamera, ali se zbog početka Prvog svjetskog rata počinje masovno proizvoditi tek desetak godina kasnije. Njenim razvojem počinje standardizacija fotomaterijala. Leicina kamera postizala je odlično izoštrenje pri maksimalnom otvoru blende. Uz klasične fotoaparate s rol-filmom 20-ih godina 20. stoljeća razvijena je prva instant-kamera. Odmah je razvijala fotografije, ali njihova masovna proizvodnja kreće nakon Drugog svjetskog rata (17,35).

Dvije glavne vrste fotoaparata koji se najčešće koriste su: kompaktni fotoaparati i Single Lens Reflex (SLR) fotoaparati.

Kompaktni fotoaparati su manji, praktičniji i jednostavniji, što su im ujedno i glavne prednosti. Sastoje se od tijela veličine malo većeg današnjeg mobitela. Sadrže bljeskalicu i objektiv promjenjive dužine fokusa ili zoom objektiv. Njima se snima tako da se gleda na LCD zaslonu, koji je na stražnjoj strani aparata. Nakon određivanja kadra jednostavnim pritiskom na okidač snimi se fotografija. Okidač se obično nalazi na gornjoj strani aparata. Sadrže određene mogućnosti za kreativno snimanje poput kontroliranja bljeskalice, različite moduse snimanja (noćno snimanje, pejzaž makro, sport, portret) i podešavanja svjetline. Izrađeni su u pravilu za fotografiranje u automatskom modu što pridonosi njihovoj jednostavnosti. Postoje fotoaparati koje ne sadrže opcije ručnog podešavanja. Takvi fotoaparati nazivaju se „point-and-shoot-camera“ („uperi i okidaj kamera“). Prednost su im niska cijena, jednostavnost, praktičnost i veličina te dobivanje oštarih makro snimki ako se fotografira na otvorenom prostoru. Mane su

im nemogućnost mijenjanja objektiva, ograničene mogućnosti podešavanja različitih modusa snimanja, zakašnjelo fotografiranje nakon okidanja te malo mogućnosti za naknadnu obradu snimki jer imaju mogućnost pohrane samo u JPEG formatu (35).

Za razliku od kompaktnih fotoaparata, SLR i DSLR aparati su veći i kompliciraniji. Single Lens Reflex (SLR) kamera ima jednu leću ili objektiv i zrcalo. Riječ je o zrcalno-refleksnim kamerama koje sadrže ogledalo smješteno između objektiva i filma ili optičkog senzora dok se gornjem dijelu kamere nalazi pentaprizma. Za razliku od SLR, Digital Single Lens Reflex (DSLR) je digitalni zrcalno-refleksni kamera ima tijelo na koje se mogu stavljati i mijenjati različiti objektiv i vanjske bljeskalice. Prilikom fotografiranja gleda se kroz tražilo i u njemu traži kadar koji se želi fotografirati. Da bismo naučili fotografirati DSLR kamerama, potrebno je mnogo učenja i prakse kako bi se dobile vrhunske fotografije. Nedostaci su im veličina pogotovo ako sadrže više različitih objektiva i bljeskalica čime su automatski i teži. Kompletan oprema za ove fotoaparate može težiti i nekoliko kilograma. Drugi nedostaci su im osjetljivost na vremenske uvijete, vlaga, prašinu i udarce. Najveći nedostatak im je visoka cijena samih uređaja i dodatne opreme (35). Osnovna je razlika između SLR aparata i DSLR aparata u tome što je film zamijenjen charge-coupled device (CCD) ili complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) senzorima, što znači da im je dodana elektronska podrška koja stvara fotografiju u samom aparatu. Suvremeni digitalni fotoaparati imaju također softver. On služi za dodatno izoštravanje i dodatno poboljšavanje kvalitete fotografije (36,37) .

U vrijeme brzog napretka i razvoja suvremenih tehnologija digitalni fotoaparati nude doktorima dentalne medicine, u njihovoj dnevnoj kliničkoj praksi, znatno više mogućnosti od klasičnog fotoaparata s filmom koji su se nekada koristili. Najveća je prednost digitalnih fotoaparata LCD zaslon. Nalazi se na stražnjoj strani tijela digitalnog fotoaparata i omogućuje promatranje dobivene fotografije pa ako nismo zadovoljni dobivenom fotografijom, može se odmah izbrisati, a fotografiranje ponoviti. Kod klasičnih fotoaparata s filmom to nije bilo moguće i moralo se čekati razvijanje filma. Svi digitalni fotoaparati imaju ugrađeni autofokus, čime je osigurana oštrina fotografije, a kvalitetniji i stabilizatore slike. Time se još više olakšavalo rukovanje aparatom, osobito prilikom zumiranja i fotografiranja dijelova unutar usne šupljine. Digitalni fotoaparati za skladištenje fotografija koriste memorijske kartice. One mogu biti različitog kapaciteta memorije i omogućiti pohranu nekoliko tisuća fotografija, za razliku od klasičnih fotoaparata s filmom kod kojih to nije bilo moguće nego se film nakon što je potrošen morao zamijeniti novim (37,38).

1.1.2. Pojava i razvoj digitalne fotografije

Od samog starta digitalna fotografija imala je neke prednosti u odnosu na klasičnu fotografiju. Unatoč tim prednostima skeptici su prvo isticali njezine nedostatke. Ubrzanim razvojem tehnologije posljednjih godina, digitalna je fotografija uspjela smanjiti te nedostatke i pretvorila ih u vlastite prednosti. Ona je zadnjih godina prerasla okvire same fotografije tako da se danas koristi u različite svrhe, a nalazimo je u mnogim uređajima osim samim fotoaparatom. Devedesetih godina prošlog stoljeća krenula je digitalizacija fotografije kada se, osim klasičnih fotoaparata, počinju razvijati i njihovi prvi digitalno oblici. Oni svoje zapise i snimke spremaju na magnetski medij. Usavršeni su objektiv i brojni uređaji koji djelomično ili posve automatiziraju radnje pri fotografiranju. Prilikom fotografiranja mjere osvijetljenost područja snimanja, automatski postavljaju različite parametre snimanja poput otvora blende, vremenske ekspozicije, izoštravanja slike, točke fokusa i dr. što je sve bio preduvjet za razvoj današnjih kamera. Japanska tvrtka Sony 1981. proizvela je prvi digitalni fotoaparat pod imenom Mavica. Mavica je imala rezoluciju od 0,28 MP. Podatke je pohranjivala na disketu. Nekoliko godina kasnije Kodak predstavlja javnosti DCS 100. Riječ je o prvom komercijalnom dostupnom digitalnom fotoaparatu. Zbog visoke cijene samog uređaja u to vrijeme koristila se samo u novinarstvu i za profesionalnu upotrebu (35,37,38).

Uz razvoj digitalne fotografije usko je vezan pojam piksel. Piksel je najmanji element digitane fotografije. Slaganje mozaika piksela različitih boja dobiva se digitalna fotografija. Kad se pomnože horizontalni pikseli s vertikalnim pikselima, dobiva se ukupna količina (površina). Ona se izražava u milijunima piksela, tj. u megapikselima (MP). Povećanjem broja megapiskela povećava se i rezolucija slike (35,38,39). Veliki broj MP-a ili veličina rezolucije digitalnog fotoaparata ne moraju obavezno davati zadovoljavajuću kvalitetu fotografije. Boja i tonaliteta mnogo su značajniji s tehničke strane, što znači da fotoaparati s manje MP-a mogu proizvesti bolju fotografiju od onih s većim brojem MP-a. Broj MP-a ne predstavlja ništa drugo nego mogućnost uvećanja dimenzije snimke, a da se pritom ne izgubi njezina oštrina. Pri snimanju fotografija u dentalnoj medicini optički zum je jako važna osobitost svakog fotoaparata jer se u dentalnoj medicini prilikom izoštravanja predmeta koji su već jako blizu gubi dubinska oštrina. To znači da bez kvalitetnih dodatnih objektiv dobivena fotografija neće biti dovoljno oštra (40).

Makro (macro) fotografija je snimka koja nastaje prilikom fotografiranja iz jako velike blizine. Definira se kao fotografija čiji je odraz na filmu ili elektronskom senzoru jednake veličine ili veći od samog objekta snimanja. Za fotografiranje u makro modu SLR aparatima neophodna je dodatna optička oprema, tzv. specijalne makro leće, koje pružaju mogućnost fotografiranja iz blizine. One su najčešće optimizirane u odnosu jedan naprema jedan iako danas postoje leće određenih proizvođača koje mogu uvećati do odnosa pet naprema jedan (41).

Proizvođači digitalnih kompaktnih fotoaparata zbog toga su proizveli softversku opciju macro, koja je na fotoaparatu obilježenu znakom ruže ili cvijeta. Ona omogućuje fotografiranje predmeta iz jako velike blizine bez da se objekt snimanja dodatno zumira. Kada je fotoaparat postavljen na makro postavke, postiže se dobra dubinska oštrina jer je otvor blende tada najmanji. Korištenjem makro postavke na fotoaparatima javlja se problem osvjetljenja, jer se zbog velike blizine objektiva aparata ostavlja vrlo malo prostora za dolazak svjetlost na objekt snimanja. Ovo je jako važno u dentalnoj medicini prilikom snimanja intraoralnih fotografija koje zahtijevaju dubinu i oštrinu pri snimanju. Stoga je u dentalnoj fotografiji važno poznavati pojam dubinske oštine. Ona je žarišna dužina objektiva, odnosno dijagonala čipa ili filma. Digitalni fotoaparati imaju dijagonalu čipa tj. senzora skoro 5 puta manju od dijagonale 35 milimetarskog filma. To znači da je dubinska oštrina na istoj blendi 5 puta veća te da digitalni fotoaparat koji s dodatnim objektivima ima maksimalnu blendu nekoliko puta manju od SLR aparata daje u makro modu fotografiju iste ili bolje kvalitete (40).

1.2. Set dentalne fotografije

Set dentalnih fotografija obično se sastoji od intraoralnih i ekstraoralnih fotografija, koje sadrže četiri ekstraoralne i pet intraoralnih fotografija.

U set intraoralnih fotografija spadaju (42,43):

1. frontalna fotografija prednjih zubi u maksimalnoj interkuspidaciji
2. okluzalna snimka donjeg zubnog luka
3. okluzalna snimka gornjeg zubnog luka
4. lijeva i desna lateralna fotografija stražnjeg zagrizu u maksimalnoj interkuspidaciji

U set ekstraoralnih fotografija spadaju (44,45):

1. frontalna fotografija lica (en face)
2. frontalna fotografija s osmijehom
3. poluprofil
4. desni profil

Seta dentalnih fotografija nije jednaka svugdje u svijetu. Pojedine škole u svoj set ekstraoralnih dentalnih fotografija pacijenta uključuju fotografiju poluprofila ili u set intraoralnih fotografija uključuju fotografiju pregriza. Ponekad se u sklopu intraoralnih fotografija snima pacijenta tijekom izvođenja parafunkcijske kretnje, preranog kontakta ili nepogodne navike. Fotografira se i makro snimka osmijeha. Prilikom snimanja instrui se pacijenta da izgovora riječi EMA ili MI. Na temelju tih fotografija radi se analiza vidljivosti gornjih i donjih sjekutića jer se u estetskoj dentalnoj medicini želi postići da se pri govoru više vide gornji sjekutići, a što manje donji. Takve intraoralne fotografije snimaju se u ortodonciji ili stomatološkoj protetici (43,45).

Osim pacijenta fotografiraju se studijski modeli u svim projekcijama u ortodonciji, a u stomatološkoj protetici fotografiraju se modeli izliveni nakon otiska uzetog nakon brušenja i modeli zajedno s budućim protetskim radom. U stomatološkoj se protetici radi dodatne analize estetike protetskog nadomjestka može snimiti fotografija gornjih frontalnih zubi zajedno s kontrastorom (43,45).

U fotodokumentaciju su nekad spadale fotografije rendgenskih snimaka, no danas zahvaljujući digitalizaciji rentgenskih slika za time nema više potrebe.

Za snimanje intraoralnih fotografija pacijent je u sjedećem položaju na stomatološkom stolcu. Prva fotografija koju snimamo je frontalna intraoralna fotografija zagrizu u maksimalnoj interkuspidaciji (42,43). Pritom kao pomoćno sredstvo koristimo obostrani retraktor koji odmiče usnice i obraze i time osigurava pregledno područje snimanja. Važno je da prilikom fotografiranja okluzalna ravnina bude paralelna s podom i da vizualno presijeca fotografiju na dva jednaka dijela, a zubi međusobno u kontaktu s jednako vidljivim lateralnim polovicama zubnog luka. Točka fokusa je u razini lateralnih inciziva kako bi se osigurao maksimalan broj zuba u fokusu (46,47). Za snimanje lateralnih intraoralnih fotografija u maksimalnoj interkuspidaciji potrebna nam asistencija od strane dentalni asistent. Dentalni asistent drži bočno intraoralno ogledalo u ustima jednom rukom, dok drugom rukom bočni retraktor pomoću kojeg odmiče suprotni obraz i usnice osiguravajući dobru preglednost područja snimanja.

Pacijent mora zagristi u položaj maksimalne interkuspidacije. Radi boljeg kuta snimanja, ovisno o strani koju snimamo, kažemo pacijentu da pomakne glavu u stranu. Na fotografiji moraju biti vidljivi zubi od maksilarnog inciziva do prvog kutnjaka strane koja se fotografira. Okluzalna ravnina mora biti paralelna s podom, a fokus snimanja bi trebao biti u području prvog premolara. Pri snimanju intraoralnih fotografija, kad koristimo pomoć ogledala da bismo spriječili zamagljivanje ogledala, potrebo je zagrijati ogledalo potapanjem ogledala u gumenu šalicu s toplom vodom. Okluzalne se fotografije također snimaju uz pomoć asistenta. Za snimanje fotografije gornjeg zubnog luka asistent pridržava ogledalo oslanjajući njegov stražnji rub na okluzalnu plohu iza prvog ili drugog kutnjaka, a drugom rukom pridržava retraktor ili kontrastor. Pri snimanju fokus fotografije mora biti u područje rafe palati. Na fotografiji mora biti prikazan cijeli zubni luk ili barem dio do prvog kutnjaka s minimalno vidljivim mekim tkivom. Za okluzalnu fotografiju donjeg zubnog luka pacijentu kažemo da zabaci glavu prema straga, a jezik postavi straga u grlo (42,43,48).

Za dobivanje jasnih intraoralnih fotografija važna je imati dobra ogledala. Mogu biti od različitog materijala. Najbolja su kromirana ogledala ili ona obložena rodijem, koja su ujedno i najskuplja. Metalna ogledala su jeftinija, robusnija i lakše se steriliziraju u autoklavu. Nedostatak im je da imaju lošija optička svojstva. Staklena ogledala su nešto bolja, ali problem je što stvaraju dvoslike zbog dvostrukog optičkog dna. Ogledala dolaze u različitim oblicima ovisno o intraoralnoj fotografiji koja se snima te uzrastu (odrasle i djecu). O njima se posebno mora voditi računa jer o njima ovisi kvaliteta slike. Važno je da su prije upotrebe ogledala dobro očišćena i zagrijana, kako bi se spriječilo njihovo magljenje kada se unesu u usta. Budući da je riječ o osjetljivom materijalu koje je moguće lako ogrepti, važno ih je pažljivo čistiti i čuvati jer oštećena narušavaju kvalitetu fotografije (43,48).

Pri snimanju ekstraoralnih fotografija najvažnija je pravilna prirodna pozicija glave pacijenta. Prirodna pozicija glave pacijenta klinički se postiže tako da pacijent pri normalnom prirodnom držanju gleda u daljinu ili u zrcalo na zidu u visini očiju. Stoga je snimanje ekstraoralnih fotografija pacijenta moguće isključivo u stojećem položaju (49). Važno je prilikom snimanja obratiti pozornost i korigirati poziciju glave pacijenta jer često prilikom fotografiranja namjestite glavu u krivi položaj, fleksiju ili ekstenziju, što će prilikom fotogrametrijske analize dati krive podatke. Lundström i sur. predlažu prirodnu orijentaciju glave, a ona se postiže ako pacijent gleda u udaljenu točku u visini očiju (50). Stoga je prilikom snimanja ekstraoralnih fotografija pacijenta važno da pacijent stoji uspravno uza zid s prirodnim položajem glave, u fiziološkom

mirovanju. Bipupilarna linija i frankfurtska horizontala na fotografijama moraju biti paralelne s podom, a mišići usnica i mentuma opušteni. Na ekstraoralnim fotografijama pacijenta mora biti vidljiva cijela glava od ključne kosti do vrha tjemena. Pacijentice ne bi smjele imati nikakav nakit, sa što manje šminke na licu, a kosa bi trebala biti svezana i stavljena iza uha kako ne bi prekrivala dio lica. Ako pacijent nosi naočale, potrebno ih je skinuti prilikom fotografiranja. Na frontalnim ekstraoralnim slikama lica oči moraju biti otvorene, pacijent gledati ravno u kameru, uši vidljive, sa točkom fokusa na vrhu nosa. Frontalna fotografija s osmijehom mora snimiti prirodni i neusiljeni osmijeh. Frontalna snimka s osmijehom radi se pri izgovaranju slova „e“ ili što je moguće prirodnijim osmijehom pacijenta (42,48,51). To je važno zbog fotogrametrijske analize osmijeha, položaja usnica i vidljivosti zuba. Prilikom snimanja profilne fotografije uvijek se snima desni profil pacijenta, a okvir fotografije mora biti isti kao kod frontalnog snimka od vrha tjemena do ključne kosti. Na fotografiji profila obavezno mora biti vidljivo uho što je važno radi određivanja frankfurtske horizontale, a točka fokusa fotografije ispred tragusa. Trebaju biti posve vidljivi unutarnji i vanjski rub oka te samo jedna strana lica. Ako je na fotografijama vidljiva druga strana lica, znači da kamera prilikom snimanja nije bila dobro pozicionirana. Fotografija profila lica osobito je važna u ortodontskoj terapiji ili nakon većih protetskih rekonstrukcija jer konačan ishod terapije utječe na donju trećinu lica, a tako i na profil pacijenta (48,51).

Kod svih je ekstraoralnih fotografija najvažnija pravilna pozicija glave. Ako je glava nagnuta naprijed ili straga, dobivamo krivi prikaz horizontalnih dijelova lica u frontalnoj projekciji. Krivi položaj glave u profilnoj projekciji dat će pogrešne sagitalne odnose, a ako je glava nagnuta u stranu, u frontalnoj projekciji dobivamo dojam asimetrije (51).

1.3. Primjena fotografije u dentalnoj medicini

Dentalna je fotografija kao grana medicinske fotografije u početku svoje primjene imala, prije svega, dokumentacijsku ulogu. Kao i radiološke snimke, dentalne su fotografije postale danas dio standardne dentalne dokumentacije. Osim kao dio dokumentacije, što im je bila početna svrha, dentalna se fotografija danas koristi kao pomoćno sredstvo u (2,7,52):

1. komunikaciji s pacijentima, osobljem klinike, kolegama iz struke i dentalnim tehničarima

2. edukaciji studenata, doktora dentalne medicine i pacijenata
3. sastavni dio *digital workflowa*
4. ilustracija u publikacijama knjiga i časopisa
5. promidžbi i oglašavanju.

Kao dio dokumentacije one se mogu koristiti u svrhu:

1. pregleda, dijagnostike i planiranja terapije
2. praćenja progressa i faza terapije
3. završetka terapije i njezina konačnoga ishoda.

Tijekom prvog pregleda pacijenta terapeut često ne može kliničkim pregledom uočiti sve detalje, stoga fotografija može služiti kao pomoćno sredstvo za drugi detaljniji pregled nakon što pacijent ode iz ordinacije. Istraživanja su pokazala da se dentalna fotografija pokazala kao efikasna metoda dijagnostike. Yao i sur. dokazali su u svom istraživanju bolju dijagnostiku ranih karijesnih lezija u djece pomoću fotografije nego kliničkim pregledom (53). U studijama Boyea i sur. zaključeno je da je dentalna fotografija usporedljiva s kliničkim pregledom. Kao prednost fotografije istaknuli su mogućnost njezine ponovljene analize i kontrole, što kod kliničkog pregleda i djece kod kojih nije dobra suradnja često nije moguće (54,55,56). Pinto i sur. došli su do sličnog zaključka u slučaju dentalnih trauma, kad se dentalna fotografija pokazala jednako pouzdanom metodom kao i klinički pregled (57). Ekstra i intraoralne fotografije važan su dio dijagnostičke dokumentacije u ortodonciji. Osim što su važne u postavljanju dijagnoze, služe u planiranju terapije, evaluaciji tijeka terapije i njezina progressa te nakon završetka terapije za praćenje stabilnosti rezultata u fazi retencije (58,59). U području forenzičke stomatologije fotografija je neizostavni dio dokumentacije i ujedno služi kao dokazni materijal prilikom vještačenja tjelesnih ozljeda u slučajevima nasilja ili zlostavljanja djece i odraslih ili identifikaciji nepoznatih tijela nakon raznih nesreća ili ratnih stradanja (60).

Posljednja je dva desetljeća primjena dentalne fotografije u svrhu izrade publikacija i edukacije postala neizostavna. U današnje je doba svakom ozbiljnim kliničaru i predavaču ili nastavniku važno posjedovati vlastitu zbirku fotografija kliničkih slučajeva u svrhu prikazivanja znanstvenoj zajednici, kolegama i studentima. Često je potrebno imati više fotografija pojedinih faza terapije kliničkih slučajeva radi prezentacije na kongresima, seminarima ili u svrhu publiciranja u knjigama ili časopisima. Fotografije su postale neizostavni dio edukacije studenata jer predavačima olakšavaju prijenos potrebnih informacija studentima, a studentima

lakšu i bolju vizualizaciju i razumijevanje teme. Fotografijama je lakše prikazati faze rada pojedinog zahvata ili postupka. Osim toga, na fotografiji je lakše uočiti detalje koji možda kliničkim pregledom ne bi bili zamijećeni te o njima raspraviti. Jednaka je važnost fotografije u publikacijama poput knjiga i časopisa jer olakšavaju čitatelju razumijevanju teksta i vizualizaciju pročitanog (2,7,52). Izreka da slika govori više od tisuću riječi dugo je poznata. Ona se u pravom smislu odnosi na dentalnu fotografiju jer uvelike olakšava komunikaciju s pacijentom, osobljem klinike, kolegama iz struke i dentalnim tehničarom. Dobre komunikacijske vještine vrlo su važne u dentalnoj praksi, a dentalna je fotografija njezin pomoćni alat. Ona uvelike olakšava komunikaciju s pacijentom. Pomoću fotografije pacijent može lakše razumjeti svoj problem, njegove moguće posljedice i komplikacije, shvatiti potrebu za terapijom te si vizualizirati njezin konačan ishod. Osim s pacijentom, dentalna fotografija olakšava komunikaciju s osobljem klinike jer olakšava vizualizaciju redoslijeda faza unutar određenog zahvata, što uvelike olakšava pripremu i organizaciju rada unutar ordinacije (2,7,50). Dobra je komunikacija s dentalnim tehničarom među najvažnijima za konačan ishod estetskih nadomjestaka u dentalnoj medicini. U posljednjem desetljeću ona je postala neizostavni alat u komunikaciji doktora dentalne medicine i dentalnog tehničara. Osim što je olakšala komunikaciju, pomaže u smanjenju broja pogrešaka i štedi vrijeme. Ranije je dentalni tehničar obavezno dolazio u ordinaciju i zajedno s doktorom dentalne medicine sudjelovao u određivanju boje budućih nadomjestaka. Danas zahvaljujući digitalizaciji nema potrebe za brojnim dolascima. Doktor dentalne medicine može fotografije poslati izravno tehničaru u laboratorij, a on potom na temelju dobivenih fotografija može odrediti boju budućeg estetskog nadomjestka (13,14,61,62,63). Dobre i kvalitetne dentalne fotografije mogu uvelike pomoći dentalnim ustanovama u njihovu oglašavanju i marketingu. Mogu se koristiti za izradu loga ordinacija, posjetnica i internetskih stranica. Danas je dentalna fotografija postala sastavni dio objava na društvenim mrežama poput Facebooka, Instagrama i Twittera. Ponekad je dovoljno staviti fotografije s početka i kraja tretmana pojedinog slučaja da bi se privukli novi pacijenti (2,52).

1.4. Primjena pametnih telefona u dentalnoj medicini

Pametne telefone mnogi smatraju revolucionarnim izumom kraja 20. stoljeća. Pametni telefon nije samo klasični mobilni telefon koji se koristi u svrhu uspostavljanja poziva, već je riječ o

malom mobilnom računalu koje ima sposobnost obavljanja brojnih zadataka. To malo ručno računalo u sebi može sadržavati bezbroj aplikacija, od jednostavnih poput sata, kalkulatora, kalendara, bilježnice, do složenih poput mobilnog bankarstva, pristupa društvenim mrežama, e-pošti itd. Mobilne aplikacije su softverski programi koje pokreću pametni telefoni, a do danas ih je preko Apple dućana za aplikacije skinuto više od 75 milijuna i više od 50 milijuna preko google play (64). Svi pametni telefoni imaju ugrađenu kameru i pristup internetu, a dostupni su po prihvatljivoj cijeni. Od pojave prvih pametnih telefona do danas njihova primjena ušla je u sve sfere društva pa i u dentalnu medicinu. Tako se javio pojam mobilne teledentalne medicine kao grane telemedicine koja inkorporira tehnologiju pametnih telefona i njihovih aplikacija u područje oralnog zdravlja (65,66). Unatoč tome što dentalna fotografija postaje sastavni dio svakodnevne dentalne prakse, mobilna se teledentalna medicina još slabo koristi u svrhu dijagnostike i konzultacija u rutinskoj praksi. Posljednja istraživanja su pokazala da je primjena dentalne fotografije dobivene pametnim telefonima u dijagnostici bolesti usne šupljine usporediva s klasičnim vizualnim kliničkim pregledom (67). Pametni telefoni pokazali su se jednako točnima kao i računala za prikazivanje i slanje digitalnih radioloških slika. Giacomoni i sur. istraživali su mogućnost primjene pametnih telefona u radiološkoj dijagnostici i došli do zaključka da je kvaliteta rtg slike na pametnom telefonu usporediva s onom na računalu u dijagnosticiranju rubnih pukotina na zubima između ispuna i zuba (68). Slanje takvih podataka je brzo i jednostavno te olakšava i ubrzava komunikaciju s kolegama da bi se dobilo drugo mišljenje i interpretirali rezultati te odredio plan terapije (69,70). Teledentalna medicina pokazala se izuzetno korisnom i praktičnom u ortodontskoj terapiji. Skraćuje broj posjeta ortodontu i vrijeme provedeno na kontrolnom pregledu tijekom perioda nivelacije, transverznog širenja maksile, evaluacije oralne higijene i provjere suradnje nošenja intermaksilarnih guma (71). Moylan i sur. tako su dokazali da je aplikacija na pametnom telefonu za praćenje ortodontske terapije tijekom transverznog širenja maksile iznimno korisna i točna metoda praćenja (72). Istraživanja su pokazala da teledentalna medicina smanjuje trošak same terapije, a povećava mogućnost praćenja tijekom i njezinu kvalitetu (73,74). Pametni telefoni i njihove aplikacije pokazali su se korisnima u edukaciji pacijenata u načinu provođenja oralne higijene, te motivaciji pacijenta u njihovu provođenju (75). Razvijene su aplikacije kojima se može pratiti rizik nastanka karijesa u pacijenata, ovisno o njegovoj multifaktorskoj etiologiji (76). Takve su aplikacije samo za profesionalnu uporabu, a koristi ih doktor dentalne medicine. Postoje aplikacije koje mogu koristiti pacijenti ili ako je riječ o djeci, njihovi roditelji, na temelju kojih se može procijeniti rizik nastanka karijesa ovisno o njihovim

oralno-higijenskim i prehrambenim navikama. Panchal i sur. dokazali su korisnost takve aplikacije u poboljšanju prehrambenih i oralno-higijenskih navika pacijenta (77). Korištenje aplikacija pametnih telefona pokazalo se korisnim i u svrhu edukacije laika u slučajevima trauma zuba (78) te u svrhu edukacije studenata uvođenjem pametnih telefona u sastavni dio akademskog programa školovanja (79).

1.4.1. Smile lite mobile dental photography uređaj

Kako bi pojednostavio protokol fotografiranja i uporabu fotoaparata na pametnim telefonima, prof. Louise Hardan zajedno sa svojim timom razvio je jednostavan i praktičan sistem dodatnog osvjetljenja u svrhu izrade visokokvalitetnih mobilnih dentalnih fotografija uz pomoć kamere pametnog telefona pod nazivom Smile Lite MDP (Mobile Dental Photography)(80). Uređaj se sastoji od kućišta s tri grupe led svjetlećih dioda s temperaturom svjetlosti dnevnog svjetla (5500K), koje se mogu individualno prilagoditi, te univerzalnog adaptera za postavljanje pametnog telefona. Moguće je koristiti prednja, lateralna ili sva osvjetljenja te, ovisno o području koje se snima, pomoćne nastavke polaroidni filter i difuzore. Uloga difuzora je omekšavanje svjetla koje omogućuje jače isticanje površinske teksture cakline, kompozitnog ili keramičkog materijala. Polaroidni filter u potpunosti otklanja refleksiju svjetlosti i obično se koristi za određivanje boje zuba. Svrha je led osvjetljenja standardizacija fotografije i eliminacija utjecaja vanjskog svjetla na kvalitetu fotografije. Univerzalni adapter omogućuje središnji smještaj kamere svih vrsta pametnih telefona, a budući da pametni telefoni sadrže različite kamere s drugačijom interpretacijom boje, ovisno o kameri i pametnom telefonu, potrebno je prije fotografiranja podesiti i individualizirati kameru kako bi dobivene fotografije imale što realniju boju. To se, prije svega, odnosi na temperaturu svjetlosti („white balance“), koju se preporučuje podesiti na onu dnevnog svjetla, a ona iznosi 5500 K (81). Tijekom fotografiranja Smile Lite MDP-om ne preporučuje se uporaba bljeskalice pametnog telefona. Prilikom fotografiranja Smile Lite MDP-om i pametnim telefonom potrebno je koristiti retraktore, kontrastore i ogledala. Preporučuje se prilikom fotografiranja koristiti udaljenost približno 15-20 cm. Važno je koristiti uvijek istu udaljenost radi mogućnosti usporedbe fotografija (82).

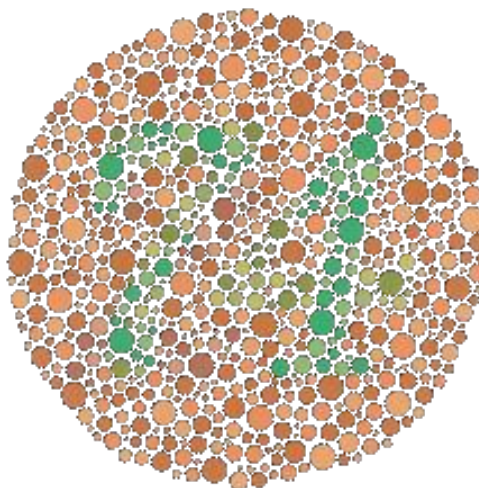
1.5. Boja

U svakodnevnom životu boja ima višestruko značenje. Mnogi znanstvenici i umjetnici pokušavali su definirati fenomena boje, ali svi pokušaju doveli su do nedorečenih definicija. Gotovo sve postojeće definicije ne daju jasnu sliku fenomena boje. Umjetnicima ona je pojam vezan za estetiku čija je svrha izražavanje kontrasta, dok je ona znanstvenicima fenomen svjetla. Boju doživljavamo našom vizualnom percepcijom, zbog čega je ona zapravo subjektivni optički fenomen u oku pojedinca (83).

Boja dolazi od turske riječi *boya* i spada u osjete vida, koji je pod utjecajem svjetlosnog zračenja. Možemo je definirati kao svojstvo svjetlosti ili tvari da, reflektirajući ili zračeći svjetlost, potiče osjetilo vida (84). Ljudsko oko uočava samo vidljivi dio spektra, odnosno elektromagnetske valove valne duljine od 390 do 800 nanometara. Zračenja različitih valnih duljina u tom rasponu daju dojam određene boje. Prije spektra crvene boje nalazi se nama nevidljiva infracrvena, a nakon ljubičaste ljudskom oku nevidljiva ultraljubičasta zračenja (85). Primjerice, osjet ljubičaste boje daje zračenje 390 nm do 430 nm, a crvene boje 650 do 800 nm. Važno je naglasiti kako su prijelazi boja postupni, te da ljudsko oko u cijelom spektru razlikuje otprilike 160 različitih nijansi boja (16). Boja svakog tijela potječe od svjetlosti koju samo tijelo emitira (npr. užarena tijela) ili od svjetlosti koju ono reflektira ili propušta. U slučaju refleksije ili propuštanja svjetlosti, dio primljene svjetlosti tijelo apsorbira ovisno o njegovoj građi (85). Boje koje vidimo na površini tijela rezultat su djelomičnog odbijanja zraka svjetlosti. Stoga, plavi predmet sa svoje površine odbija plavo svjetlo, a ostale boje upija. Žuti predmeti odbijaju žute valove, a ostale upijaju. (36,85) Tijelo je bijele boje u slučaju jednakomjerne refleksije svih valnih područja vidljivog spektra. Tijela crne boje posve apsorbiraju takvu svjetlost, a predmeti sive boje djelomično, ali ravnomjerno reflektira sve zrake vidljivog dijela spektra. Bijela, crna i siva ne smatraju se pravim tzv. kromatskim bojama, već spadaju u akromatske boje jer nemaju svoje vidljivo valno područje (85).

Ljudsko oko razlikuje boje zahvaljujući izduženim neuronima zvanima čunjići, koji se nalaze na unutrašnjoj očnoj ovojnici ili mrežnici. Postoje najmanje tri vrste čunjića, koje se morfološki ne razlikuju, a sadržavaju poseban fotopigment jodopsin, koji je najosjetljiviji u crvenom, zelenom i plavom dijelu vidnog spektra (86). Stoga naše oko može uočiti gotovo sve nijanse boja kada se crveno, zeleno i plavo monokromatsko svjetlo pomiješaju u određenim omjerima. Ako osobi u oku nedostaje jedna skupina čunjića, neće moći razlikovati neke boje od drugih i

tada govorimo o sljepoći na boje ili daltonizmu (87). Brza procjena sljepoće na boje radi se pomoću tablica ili mapa s različito obojenim kružićima, kao što je prikazano na fotografiji (Slika 5.).

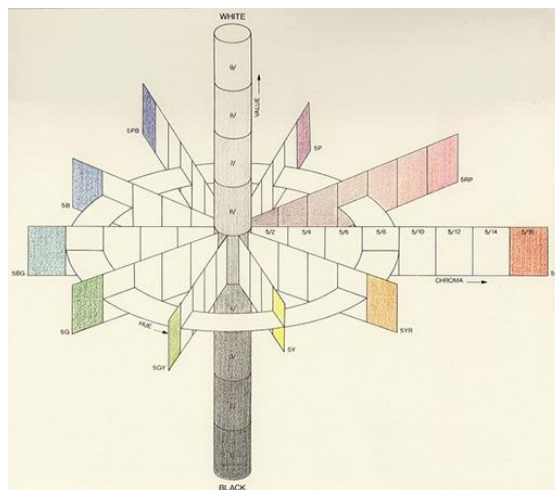


Slika 5. (preuzeto iz 87.)

U dentalnoj medicini potrebno je dobro poznavati boje pigmenata jer restorativni materijali (keramički, kompozitni ili akrilatni) posjeduju određenu boju. Važno je stoga spomenuti da imamo primarne, sekundarne i komplementarne boje. U primarne boje spada crvena, žuta i plava. Nazivaju se primarnima jer se ne mogu dobiti miješanjem ni jedne od drugih kombinacija boja, već se pojavljuju prirodno kao takve. Sekundarne boje nastaju miješanjem primarnih boja, a u njih spadaju narančasta, zelena i ljubičasta. Primjerice, crvena i žuta boja daju naračastu, žuta i plava daju zelenu, a plava i crvena daju ljubičastu. Komplementarne boje slažu se jedna s drugom, tj. obogaćuju izgled jedne drugima. Miješanjem komplementarnih boja nastaje akromatska siva boja.

Za shvaćanje pojma boje važno je poznavati njezine dimenzije. Boja ima tri dimenzije, a to su nijansa, svjetlina i zasićenost (88). U prvoj polovici 20. stoljeća američki slikar i umjetnik Albert Henry Munsell proučavao je boju i njezine sastavnice. Smatrao je da boja predstavlja multidimenzionalnu varijablu te ju je stoga podijelio na tri dimenzije koje se po njemu danas zove Munsellov sustav klasifikacije boja (13,89). U Munsellovom sustavu klasifikacije boja ne spominje se pojam transucencije, koji zapravo predstavlja jedan od važnijih parametara u postizanju zadovoljavajućeg ishoda estetskog nadmojestka u dentalnoj medicini (88). Munsell je boju opisao pomoću triju dimenzija; nijanse, stupnja zasićenja i svjetline. Nijansa (eng. hue) predstavlja osnovni ton boje (npr. žuta, crvena ili plava). Pojam „nijansa“ zapravo je sinonim

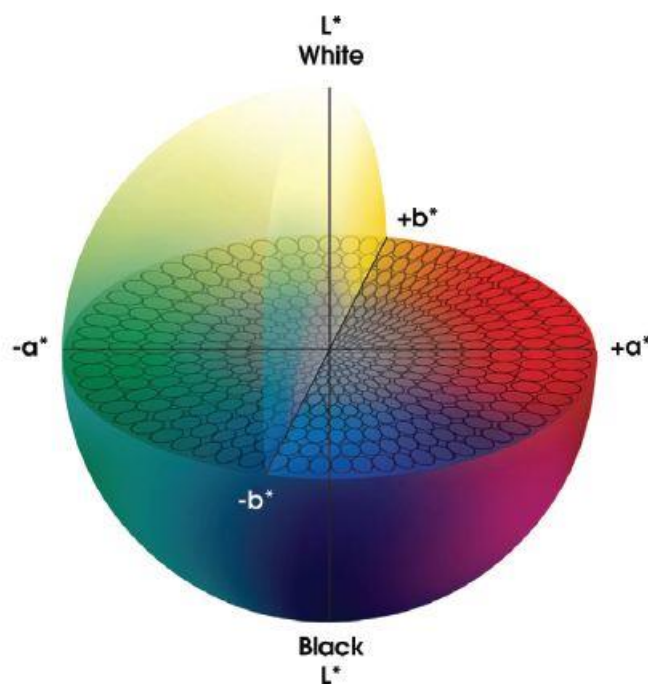
za izraz „boja“ i služi za opisivanje boje zuba ili zubnog nadomjestka. Svjetlina (eng. value) predstavlja relativnu sjajnost ili tamnoću nijanse (svjetlija ili tamnija nijansa boje). Kromatografska vrijednost (eng. chroma), koja predstavlja intenzitet ili stupanj zasićenosti tonom boje. Tu multidimenzionalnost boje najbolje pokazuje tzv. Munsellovo stablo boja (Slika 6.). Sve boje možemo izmjeriti Munsellovom klasifikacijom boja ili stablom boja. U stablu boja kružnica predstavlja nijansu, u središtu kružnice se nalazi okomiti stup koji predstavlja svjetlinu, a udaljšavanje od njega prema kružnici zasićenost boje (13,89).



Slika 6. Munsellovo stablo boja (preuzeto iz 89.)

Moderniju verziju Munsellovog sustava klasifikacije boja predstavlja L^*C^*h trodimenzionalni koordinatni sustav. Koordinata L^* predstavlja svjetlinu gdje slovo L dolazi od engleske riječi „luminance“, a vrijednosti se kreću od 0 do 100. Nula predstavlja crni, dok sto bijeli ton boje. Slovo C^* dolazi od engleske riječi „chroma“, a izračunava se kao odstupanje od neutralne osi. Zadnja vrijednost slova h dolazi od engleske riječi „hue“ i izražava osnovni ton boje (9).

Nadopunu L^*C^*h trodimenzionalnog koordinatnog sustava boje napravio je godine 1931. Commission Internationale de L'Eclairage (CIE). Tada je uveden $L^*a^*b^*$ sustav boja, koji predstavlja xyz koordinatni sustav. Vrijednosti svjetlina boje L^* smještene su na y osi, dok se vrijednosti zasićenosti boje očitavaju se x i z osi koordinatnog sustava. Vrijednosti a^* smještene su na x osi. Pozitivan smjer vrijednosti a^* predstavlja smjer prema crvenom tonu, a negativan prema zelenom. Vrijednosti b^* smještene su na z osi, gdje pozitivan smjer predstavlja žutu, a negativan plavu boju (Slika 7.) (90).



Slika 7. CIE sustav boja (preuzeto iz 91.)

Sustav boja CIE $L^*a^*b^*$ obično se koristi u studijama za procjenu boje zuba zbog njegove približno vizualno ujednačene pokrivenosti prostora boja. U ovom sustavu razlika boja ΔE između dva objekta (L^*1, a^*1, b^*1 i L^*2, a^*2, b^*2) može se izračunati pomoću jednadžbe (91):

$$\Delta E = [(L^*1 - L^*2)^2 + (a^*1 - a^*2)^2 + (b^*1 - b^*2)^2]^{1/2}$$

Vrijednost razlike boje važno je za kvantitativno utvrđivanje razlike boje između dva objekta. U kontroliranim uvjetima ljudsko oko uočava razlike u boji između dva objekta ako je vrijednost ΔE jednaka ili veća od 1 (92). To je potvrdila kasnija studija Seghi i sur. na zubnoj keramici (93). Međutim u kliničkim su uvjetima istraživanja pokazala da vrijednosti ΔE moraju biti znatno veće da bi ljudsko oko uočilo razliku u boji između dva objekta. Ruyter i sur. dokazali su da u kliničkim uvjetima vrijednosti ΔE moraju biti 3,3 ili veće kako bi ljudsko oko uočilo razliku između dva objekta (94). Druga studija je dokazala da prosječne vrijednosti ΔE između dva objekta u kliničkim uvjetima koje uočava ljudsko oko iznosi 3,7 (95). Istraživanja su također dokazala da je prag uočljivosti neusklađenosti boje znatno niži od praga prihvatljivosti (96,97). Prag uočljivosti razlike u boji intraoralno je znatno viši zbog pozadinskih i okolnih distrakcija u usnoj šupljini poput gingive, sluznice i sjena uzrokovane usnama. One onemogućuju uočavanje manjih razlika u boji zuba intraoralno.

1.6. Boja zuba

Boja zuba se često smatra najbitnijim čimbenikom u postizanju estetskog izgleda osmijeha, bilo da je riječ o prirodnim zdravim intaktnim zubima ili onima koji posjeduju jedan od oblika restaurativnih ili protetskih nadomjestaka (98,99). Stoga je među čimbenicima neophodnima za estetsku restauraciju procjena boje zuba važan korak ne samo za pacijente koji žele poboljšati izgled svoga osmijeha, već također za doktore dentalne medicine koji žele odabrati odgovarajuće materijale s odgovarajućom nijansom i pružiti najbolji mogući ishod terapije na zadovoljstvo pacijenta (100).

Boja zuba ovisi o kombinaciji unutarnjih i vanjskih boja. Unutarnja je boja zuba povezana s optičkim svojstvima zuba, a vanjska je boja povezana s apsorpcijom tvari iz okoline (čaja, kave, crnog vina, duhana), a ovisi o higijenskim i prehrambenim navikama pacijenta. Unutarnja je boja zuba određena kombinacijom njegovih optičkih svojstava. Kada svjetlost padne na površinu zuba, mogu se opisati četiri fenomena povezana s interakcijom zuba sa svjetlosnim zrakama: (1) transmisija zraka svjetlosti kroz zub, (2) zrcalna refleksija zraka svjetlosti na površini zuba, (3) difuzna svjetlost refleksija na površini zuba i (4) apsorpcija i raspršenje svjetlosti unutar zubnog tkiva (101). Ova optička svojstva ovise o strukturnoj i histološkoj građi zubnih tkiva (100).

Zbog svega su navedenog prirodni zubi najčešće polikromatski i njihova boja varira od cervikalnog do incizalnog dijela, a ovisi o njenoj debljini, refleksiji različitih boja i translucenciji u zubnoj caklini i dentinu (102,103). Pojam translucencije predstavlja količinu svjetlosti koja je prodrla kroz strukturu zuba, odnosno nije apsorbirana ni odbijena. Transparencija predstavlja najviši stupanj translucencije, dok opacitet onaj najmanji. Opakniji zub je zato manje proziran za razliku od transparentnog koji je prozirniji. Na pojavu translucencije utječe kompleksnost građe zuba. Budući da je zub građen od triju različitih vrsta tkiva: tvrdog tkiva, cakline, i dentina te mekog tkiva, zubne pulpe, svaki od navedenih dijelova zuba ima različita optička svojstva te se svjetlost pri prolasku kroz njih ponaša na različite načine (104). Na pojedinim područjima zuba riječ o većoj apsorpciji svjetlosti pa su oni opakniji, a na nekima, poput incizalnog brida, svjetlost prolazi kroz strukturu pa kažemo da su transludentni (102,105).

Boja zdravih zubi najmanje ovisi o zubnoj pulpi (106), dok je najvećim dijelom određena bojom dentina (107), koja je modificirana bojom zubne cakline koja prekriva zubnu krunu (108,109), prozirnošću cakline koja varira zbog različitog stupnja kalcifikacije njezinih pojedinih dijelova (110) te debljinom zubne cakline koja je deblja u incizalno-okluzalnom dijelu, a tanja u cervikalnoj trećini (111,112). Dentin zbog svog udjela organske tvari daje opaknost zubu, a slabije mineraliziranosti u usporedbi s caklinom (113). Za veću translucenciju cakline odgovoran je njezin visoki udio kristala kalcijhidoksiapatita. Istraživanja su pokazala da veličina kristala hidroksiapatita, kao i njihov sastav, utječu na boju zuba. (109). Translucencija zuba ovisi o debljini cakline, koja se smanjuje od incizalne tj. okluzalne trećine prema cervikalnoj trećini zubne krune (113). To znači da je najtranslucentniji dio krune zuba njezin incizalni brid kod prednjih ili okluzalna ploha kod stražnjih zubi, dok je cervikalni dio krune zuba najmanje translucentan. Razlog tome su najtanje cakline i prosijavanje dentina ispod nje (102).

Zbog svojstva da se zubi na dnevnom svjetlu čine svjetlijima i bjeljima, fluorescencija je dodatni čimbenik koji se mora razmotriti (114). Definirana je kao mogućnost apsorpcije svjetlosne energije i njenog reemitiranja u obliku različitih valnih duljina. Dokazano je da je dentin triput fluorescentniji od cakline, što uzrokuje dojam tzv. unutarnjeg osvjtljenja (luminiscencije). Ta je osobina ključna u određivanju prirodnog vitalnog izgleda zuba, tzv. vitalescencije (22).

Kako svaki pojedini zub ne posjeduje jedinstvenu nijansu, tako ni svaka skupina zubi u čeljusti. Ovisno o posebnosti građe, veličini i debljini njihove strukture, pojedine skupine zuba razlikuju se u nijansi (16).

Važno je naglasiti da boja zuba ovisi o spolu (115), rasi (116), dobi (117), prehrambenim i drugim navikama te oralnoj higijeni (112). Ona može biti posljedica traume, karijesa te fizičko-mehaničkih i kemijskih oštećenja (112). Zubi tijekom vremena postaju tamniji djelovanjem vanjskih (npr. duhan, kava, čaj, crno vino) ili vanjsko-unutarnjih čimbenika. U vanjsko-unutarnje čimbenike spada trošenje cakline tijekom vremena (atricija, abrazija) što dovodi do višeg prosijavanja žutog dentina. Zato zubi u starijih osoba djeluju žući. Istraživanja su pokazala da starenjem dolazi do smanjenja svjetline zubi s većim udjelom žute i crvene (115,118). Također s vremenom dolazi do sve većeg odlaganja sekundarnog dentina i povlačenja pulpne komore u korijenski kanal, što dovodi do povećanja debljine dentina. Promjene boje zubi zbog starenja uzrokovane su promjenom u površinskim slojevima zubi.

Stupanj tih promjena ovisi o anatomiji građe zuba, strukturalnoj tvrdoći te upotrebi i zloupotrebi zubi (119).

1.6.1. Percepcija boje zuba

Važnu ulogu u određivanju boje nekog zuba predstavlja percepcija nje same te ovisi o velikom broju parametara. Paramteri koji utječu na njezinu percepciju su dimenzije i pozicija promatranog tijela, osvjetljenje na kojem se promatrani predmet nalazi, podlozi na kojoj se predmet nalazi i oku samog promatrača (16). Percepcija boje zapravo nastaje u ljudskom mozgu pomoću očnih čunjića koji su receptori za boje. Boje nastaju iz kvantitativnih razlika u fotoosjetljivosti. Oko i um stvaraju određenu percepciju usporedbom kontrasta – kromatska se boja određuje svojim odnosom prema akromatskoj. Stoga percepcija boje predstavlja psihofizičku stvarnost boje (88).

Osim zuba, u dentalnoj se medicini različite vrste materijala (kompozit, keramika) različito ponašaju pod djelovanjem određene vrste svjetlosti. Optička su svojstva materijala važna pri donošenju odluke kojom ćemo vrstom materijala izraditi naš definitivni nadomjestak koji ima zadaću oponašati okolne strukture čeljusti i uklopiti se u njih. Stoga se, ovisno o postojećim susjednim zubima u ustima te protetskim ili restaurativnim nadomjestcima na njima i njihovim optičkim svojstvima, u konačnici donosi odluka koju vrstu estetskog materijala koristiti (120,121).

Prilikom određivanja boje važno je poznavati fenomen kontrastnog efekta jer on značajno utječe na percepciju boje te na mogućnost njezine objektivne procjene.

Procjena boje nekog objekta pod utjecajem je podloge na kojoj se objekt nalazi. Isti se objekt na različitoj podlozi može doimati svjetliji ili tamniji. Riječ je o vizualnom fenomenu zbog kojeg se percepcija boje može bitno promijeniti, a naziva se *kontrastnim efektom svjetline* (20,122) Ako je okolna podloga tamna, objekt se doima svjetlijim; u suprotnome, kada je okolna podloga svjetlija, objekt se čini tamnijim (20). Procjena boje pod utjecajem je drugih boja iz okoline. Ako se objekt promatra istodobno s nekom drugom bojom, nijansa objekta bit će sličnija komplementarnoj boji druge promatrane boje. Ovaj se vizualni fenomen naziva *kontrastnim efektom nijanse* (16). Zubne nijanse pretežno pripadaju narančastim tonovima pa

ako želimo bolje razlikovati sve narančaste tonove, prije određivanja boje zuba oko možemo uvježbati gledanjem u svijetloplavu podlogu (20).

Veličina i položaj promatranog zuba utječu na percepciju boje. Promatrajući gornje prednje zube središnji sjekutići koji su veći doimaju se svjetlijima od lateralnih sjekutića iste boje. Taj se vizualni fenomen naziva *površinski kontrastni efekt*. Za razliku od njega, zubi u zubnom nizu udaljeniji od oka promatrača izgledaju tamniji od onih bližih. Taj se vizualni fenomen naziva *prostorni kontrastni efekt* (20,122). Ovaj se fenomen još javlja kod rotiranih ili preklopljenih zubi. Zato se protrudirani zubi čine svjetliji od retrudiranih koji se čine tamniji. Tako i lateralni zubi jer su nalaze u stražnjem dijelu usne šupljine se doimaju tamnijima.

Na percepciju boje promatranog zuba uvelike utječu kvaliteta i količina svjetlosti pri kojoj se on motri. Nijansa izvora svjetlosti izražava se u temperaturi mjerenoj u Kelvinima (K) pa tako prirodno svjetlo u zoru posjeduje temperaturu boje 3500 K (žuta komponenta u spektru), dok u podne ona doseže 5500 K (bijela komponenta u spektru). Stoga se zub promatran uz različite izvore svjetlosti može doimati različitim, tj. dva zuba različite boje promatrana pod istim izvorom svjetlosti mogu davati dojam jednake boje, što će rezultirati greškom u odabiru boje budućeg estetskog nadomjestka. Taj se vizualni fenomen naziva *metamerizam* (123). Stoga je pri odabiru boje neizmjereno važno obratiti pozornost pod kojim se svjetlom i u koje doba određuje boja zuba pacijenta. Idealnim se smatra procjenjivati boju zuba na prirodnom svjetlu pri temperaturi boje 5500 K (124). Ako postoji prirodni izvor svjetlosti, najbolje je nijansu određivati od 10 ujutro do 14 tijekom vedrog dana, a ako ne postoji prirodni izvor svjetlosti, preporučuje se određivati boju zuba pri umjetnoj neonskoj rasvjeti temperature boje 5500 K. Bez kvalitetne svjetlosti i dobrog osvjetljenja boju nije moguće ni zamijetiti niti procijeniti. Znanstvena istraživanja Nakagawe i sur. (125) i Prestona i sur. (126,127) ukazala su na važnost osvjetljenja u stomatološkoj ordinaciji. Dokazali su čvrstu povezanost između loše kvalitete i količine svjetlosti na optimalan odabir nijanse. Ključ boja, promatran u različitim uvjetima osvjetljenja, posjeduje posve različiti ton, stupanj zasićenosti i svjetlinu.

Oko promatrača igra nezaobilaznu ulogu u percepciji boje promatranog objekta. U dentalnoj medicini boju zuba procjenjuju pacijent, dentalni tehničar i doktor dentalne medicine. Znanstvena istraživanja su dokazala da postoji razlika u percepciji boje pacijenta, dentalnog tehničara i doktora dentalne medicine. Brojni su razlozi zašto svako oko može boju istog objekta percipirati različito. Neki od njih su ranije već navedeni – okolina, vrsta osvjetljenja te vizualni fenomeni, ali i o zamoru oka, njegovoj starosti te optičkim anomalijama i

poremećajima oka u prepoznavanju boje. Razlika u percepciji može se objasniti i pojavom binokularnog fenomena. Binokularni fenomen je pojava kod koje svako oko istu boju opaža na drugačiji način. Osoba s ovim fenomenom dva će objekta istog oblika i boje, postavljena jedan pored drugog, vidjeti kao različite, tj. jedan će se doimati svjetlijim ili tamnijim od drugoga. Oba oka neke osobe percipiraju vrlo slično, ali ako postoji razlika u percepciji, potrebno ju je kompenzirati. Ovaj je fenomen važan u dentalnoj medicini pri određivanju boje zuba konvencionalnom metodom ključa boja. Kako bi se ovaj fenomen izbjegao, primjerak boje iz ključa trebao bi se postavljati iznad promatranoga zuba ili ispod njega.

Percepcija boje pojedinca ovisna je o kronološkoj dobi promatrača. Naime, leća ljudskog oka starenjem postaje sve više žuto-smeđa, pridonoseći tako žuto-smeđem tonu promatranog objekta. Stoga s vremenom starijim ljudima sve teže razlikuju bijelu od žute boje. Navedene promijene u oku počinje u 30-im godinama, primjetne postaje u petom desetljeću života, a klinički značajne u sedmom desetljeću. Na nepovoljnu percepciju boje utječe i zamor oka. Ono može biti posljedica sistemskog, lokalnog ili mentalnog zamora. Dugotrajno promatranje neke nijanse i loše osvjjetljenje najčešći su uzroci pogreške i zamora oka (20).

Velik problem pri određivanju boje zuba ili protetskih i restaurativnih nadomjestaka u dentalnoj medicini predstavlja daltonizam (16). Riječ je o poremećaju fotoreceptora odgovornih za tri temeljne valne dužine svjetlosti – crvenu, zelenu i plavu boju. Radi se o nasljednoj anomaliji i rijetkom poremećaju koji češće zahvaća muškarce od žena (87). Takve osobe djelomično ili u cijelosti ne primjećuju razlike u nijansi, svjetlini i zasićenosti boja, što utječe na njihovu lošu prosudbu o podudaranju ili nepodudaranju boje nadomjestaka s bojom prirodnog zuba.

1.7. Metode određivanja boje zuba

Načini određivanja i mjerenja boje u dentalnoj medicini su različiti, ali se svi oni mogu podijeliti u dvije glavne skupine ovisno o vrsti postupaka i alata kojom se služi stomatolog ili dentalni tehničar:

1. Klasično, konvencionalno ili vizualno određivanje boja
2. Instrumentalno ili digitalno određivanje boja

1.7.1. Klasično (konvencionalno ili vizualno) određivanje boja

Klasično ili konvencionalno određivanje boja predstavlja vizualnu metodu koja se temelji na uspoređivanju s nekih poznatim fizičkim standardom koji je prihvaćen kao referentan. U stomatologiji se u tu svrhu dugi niz godina koristio ključ boja (128). Zbog toga jer je ova metoda vizualne procjene najviše ovisna o oku samog promatrača se smatra nepouzdanom subjektivnim metodom. Bez obzira na to i dalje se najčešće koristi zbog svoje jednostavnosti u svakodnevnoj dentalnoj praksi (129). Osim percepcije boje od strane promatrača, njezin pravilan odabir ovisi o osvjetljenje u ambulanti. Zbog toga se boja zuba treba određivati na dnevnom prirodnom svjetlu. Ako se određuje pri umjetnom svjetlu, trebalo bi koristiti bijelo svjetlo čija temperatura boje treba iznositi 5500K (130). Okolne boje koje okružuju zube, kao crveni ruž na usnama ili intenzivna boja odjeće, također utječu na percepciju boje zuba, što može u konačnici rezultirati pogrešnom procjenom boje i nezadovoljavajućim ishodom završnog restaurativnog ili protetskog nadomjestka (131). Zbog toga bi prije određivanja boje konvencionalnom metodom pacijente trebalo informirati da nose odjeću bijele ili neutralne boje te da ne stavljaju ruž ili neke druge kozmetičke preparate na lice (63). Kako bi što točnije odredili boju zuba, uza sve navedeno važan je i položaj ključa boja koji se postavlja ispod zuba kojem se određuje boja, a ne pored njega (63,122). Vrijeme trajanja postupka određivanja boje zuba ne bi smijelo trajati duže od 10 do 20 sekundi zbog zasićenja. Stoga se preporuča jednu minutu odmarati oči gledajući u plavu površinu (plava je komplementarna boja) kako bi se izoštrila percepcija žutih tonova (128,132). Pacijent treba sjediti tako da su mu usta u razini očiju osobe koja bira boju i na udaljenosti približno 50 cm te se preporučuje odabir boje na samom početku zahvata kako bi se izbjegao dodatni zamor oka (63,132). Na točniji odabir boje zuba utječu spol te edukacija i prethodno znanje o samoj boji. Haddad i sur. dokazali su da žene preciznije određuju boju zuba (133) te da su rjeđe slijepe na boje (63). Istraživanja su pokazala da je za preciznost određivanja boje zuba važno iskustvo samog kliničara (134,135). Olms i Ristić u svojim su studijama potvrdili da se pravilno određivanje boje zuba može naučiti treningom i edukacijom (136,137).

Danas na tržištu postoje različiti ključevi boja, a svaki kompozitni ili keramički sustav sadrži svoj ključ boja koji odgovara bojama materijala koji se pritom koriste. Prilikom korištenja određenog ključa boja važno je poznavati njegov sistem po kojem su raspoređene nijanse, svjetlina i stupanj zasićenosti. Ključevi boje izrađeni su od keramike ili kompozitnih materijala.

Iako ih je većina izrađena od kompozitnih materijala, oni su kompatibilni s keramičkim materijalom odgovarajućeg proizvođača (138). U današnje vrijeme najviše se koriste ključevi boja VITA Classical A1-D4® (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) i Chromascop System (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Posljednji razvijen ključ boja je novi VITA 3D Shade Master (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) i VITA Bleachguide 3D Master (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) koji sve više istiskuje predhodne.

VITA classical A1-D4® sadrži 16 boja. Svaka boja označena je slovom i brojem npr. A3, B3, C2, itd. Slova predstavljaju nijanse kojih je ukupno četiri. To su A, B, C i D. Grupa A predstavlja crveno-smeđe, grupa B žute, grupa C sive, a grupa D crveno-sive nijanse. Brojevi od 1 do 4 predstavljaju svjetlinu. Što je broj veći, boja je tamnija, a što je broj manji, boja je svjetlija. Dodatne tri nijanse na lijevom kraju ključa služe za procjenu boje tijekom i nakon izbjeljivanja zubi. To su M1, M2 i M3 i predstavljaju bleaching shades (139).

Chromascop System ključ boja ima 5 glavnih nijansi. To su bijela, žuta, narančasta, siva i smeđa, a označene su brojkama od 1 do 5. Unutar svake nijanse nalaze se još dodatno po četiri različita ključa boja ovisno o njezinoj zasićenosti. Ona su označene dvoznamenkastim brojevima od 10 do 40. Chromascop System ključ boj ima sve skupa 20 različitih boja zuba (139).

Nedavno je VITA razvila nove sisteme ključa boja radi boljeg i preciznijeg vizualnog određivanja boje.

U novije ključeve boja spada VITA Toothguide 3D Master® (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka). On ima veći izbor raspoloživih paletu boja u odnosu na VITA classical A1-D4® (140). VITA Toothguide 3D Master® sa 26 uzoraka boja koji su raspoređeni u pet grupa daje veću i precizniju mogućnost izbora boja. VITA Toothguide 3D Master® svrstava boje prema svjetlini a ne kao njegov prethodnik prema nijansi. Razlog tome je bolja percepcija svjetline od strane ljudskog oka u odnosu na nijansu (141). Prve grupe sadrži dvije palete, druge, treće i četvrte ukupno njih sedam, dok pete sadrži tri palete. Palete su u svakoj skupini poredani u vertikalnom smjeru prema stupnju zasićenja, dok su u horizontalnom prema nijansi boje. Svjetlina boje svake grupe označena je brojem od 1 do 5 (142). Broj 1 označava najsvjetliju, a broj 5 najtamniju skupinu boja. Za očitovanje boje prilikom izbjeljivanja zubi služi grupa nula, kao kod VITA classical A1-D4® grupa M. Zasićenost boje predstavlja broj koji se nalazi ispod broja grupe. Veći brojevi iz te grupe upućuje na veću zasićenost boje. Slovo M dolazi od

engleske riječi „middle“ i označava srednju vrijednost zasićenosti unutar pojedine grupe boja. Slovo L, koje je smiješteno lijevo dolazi od engleske riječi „left“ i predstavlja žućkastije nijanse, a desno slovo R od engleske riječi „right“ koja označava crvenije nijanse u usporedbi sa srednjom nijansom (139).

Kada se procijenjuje boja zuba nakon terapije izbjeljivanja koristi se VITA Bleachguide 3D Master ključ. Na njemu se nalaze različite vrijednosti svjetline i zasićenosti srednje nijanse zuba. Ovaj ključ sadrži 15 različitih boja, a omogućuje procjenu 29 boja zub (143,144).

Klasična ili vizualna metoda procjene boje najkorištenija je metoda u određivanju boje iako ju prati niz nedostataka. Prvi i ujedno glavni problem što je riječ o subjektivnoj metodi jer procjena boje uvelike ovisi o oku promatrača. Drugi je problem što su za pravilno određivanje boje zuba važno okruženje, količina i kvaliteta svjetlosti i odsutnost očnog zamora. Treći problem svih ključevi boja je što ne sadrže sve parametre boje. Glavni im je manjkavost vezan uz translucencije. Stoga se ovom metodom procjena boja radi na temelju ključa koji je najbliži boji zuba kojem se ona određuje. Ovakav način neizbježno dovodi do pogrešaka. Zbog svega navedenog još sredinom 70-ih godina prošloga stoljeća počinje razvoj uređaja koji će pomoći u povećanju preciznosti, objektivnosti i ponovljivosti određivanje boje zuba (145).

1.7.2. Digitalno (instrumentalno) određivanje boje

Digitalno ili instrumentalno određivanje boje metoda je kojom se pomoću određenog uređaja može odrediti boja zuba. Smatra se preciznijom, pouzdanijom i objektivnijom metodom od klasične metode procjene uz uporabu ključa boja jer eliminira subjektivnost promatrača te utjecaj okoline (145,146) Nedostatak je konvencionalne metode u usporedbi s digitalnom metodom, osim već navedenog, što konvencionalna metoda ima premalen raspon raspoloživih boja prisutnih u ključu boja (147). Znanstvena istraživanja Paravine i suradnica dokazala su koliko su ključevi boja neprecizniji u usporedbi s digitalni uređaj. Dokazali su također kako Vitapan classical (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) pokriva samo 6% boja prisutnih u prirodi (148).

Sredinom 70-ih godina prošloga stoljeća pojavili su se prvi uređaji za određivanje boje u dentalnoj medicini (145). Oni su se međusobno razlikovali po načinu mjerenja, osjetljivosti rukovanja, konfiguraciji, čvrstoći, dizajnu i cijeni samog uređaja (149).

Za digitalno se određivanje boje zuba danas koriste uređaji (150):

1. digitalna kamera (digitalna fotografija)
2. kolorimetar
3. spektrofotometar
4. spektroradiometar
5. intraoralni skener.

Digitalna je fotografija stekla veliku popularnost posljednjih godina kao način pomoću kojeg se može odrediti boja zuba i prenijeti informacije dentalnom tehničaru u laboratorij. Pomoću dentalne fotografije može se vrlo jednostavno odrediti boja zuba uz pomoć kompjuterskog softvera Adobe Photoshop. Prikupljeni podaci mogu se spremati i poslati dentalnom tehničaru koji potom na temelju poslanih podataka može izraditi protetski nadomjestak što sličniji prirodnom zubu (151). Nedostatak je ove metode što se ovim načinom prikupljaju samo osnovni podaci vezani za boju, a oni nisu dovoljni za analizu svih sastavnica boje (152,153). Točnost određivanja boje ovom metodom ovisi o kvaliteti fotografije, koja ovisi o samom uređaju kojim se snima, te vanjskom osvjetljenju koje može utjecati na točnost boje dobivene na temelju fotografije (154).

Kolorimetar je naprava koja mjeri tristimulusne vrijednosti boja (slično kako ljudsko oko percipira boje) i zasniva se na tri glavne boje (128). Sadrži standardizirane izvore svjetlosti i filtera za crvenu (R), zelenu (G) i plavu (B) boju pomoću koji vrši mjerenja. Prilikom mjerenje boje objekta izražava mu pripadajuću boju u obliku RGB vrijednost. Nedostatak mu je komplicirano podešavanje filtera stoga i najmanje pogreške dovesti do odstupanja rezultata. Točnost uređaja ovisi i o konstantnosti izvora svjetlosti (155). Okubo i sur. dokazali su da Colortron kolorimetar ima dobru ponovljivost, ali ne i točnost (156). Druga istraživanja su zaključila da većina njih nije praktična za rutinsku kliničku primjenu i da imaju nedostatak u točnosti određivanja boje objekata koji imaju svojstvo translucencije (157,158,159). Jedna je od najvažnijih prednosti kolorimetra mogućnost izračunavanja razlika među dvjema bojama (ΔE), na temelju razlike u svjetlini, nijanse i zasićenosti (160). Glavni je nedostatak što su ograničeni na standardnog promatrača i na samo jedan standardni izvor svjetla pa ne mogu provjeriti poklapaju li se vizualno dva različita uzorka boja pod različitim izvorom svjetla (161). Najčešće korišteni uređaji u dentalnoj medicini ove skupije su: ShadeVision (X-Rite, Grand Rapids, SAD), Shade Eye (Shofu Inc, Kyoto, Japan), Minolta CR-321 (Minolta Inc, Osaka, Japan) i drugi.

Intraoralni skener (IOS) su uređaji čija je primarna svrha u početku bila zamijeniti klasične otisne postupke u dentalnoj medicini digitalnim otiscima. Prednosti su digitalnog otiskivanja u odnosu na klasičnu - ugodnost za pacijenta, izbjegavanje oštećenja otiska prilikom transporta, kraće vrijeme postupka, mogućnost prijenosa podataka internetom, a time i bolja komunikacija s laboratorijem, pohranjivanje podataka u računalo i nezauzimanje fizičkog prostora (162,163,164). Međutim, razvojem softvera od 2017. godine razvijaju se modeli IOS-a koji imaju mogućnost i digitalnog određivanja boje. Yoon i sur. među prvima su ispitivali mogućnost njihove primjene uspoređujući ih s kolorimetrom. Zaključili su da se ne mogu koristiti kao primarna metoda odabira zbog nedostatka točnosti i da su potrebni dodatna ispitivanja i razvoj uređaja (165).

Noviji modeli poput 3Shape TRIOS® intraoralnog skenera imaju mogućnost određivanja boje zuba pomoću svoje kamere, LED rasvjete i softvera, a uzimaju VITA ključ boja kao referentni (166). Dosadašnjih istraživanja nema mnogo, no dostupna su pokazala da se intraoralni skener 3Shape TRIOS® može koristiti kao alternativa vizualnoj metodi određivanja boje zuba (167,168). U nekim slučajevima rezultati su bili usporedivi sa spektrofotometrom, uređajem koji se danas uzima kao zlatni standard za određivanje boje zuba (166,167) dok su neka pokazala manju preciznost intraoralnih skenera sa spektrofotometrom (169). Istraživanja su pokazala dobru ponovljivost IOS-a (170).

Spektrofotometar je digitalni uređaj za vrlo precizno mjerenje boje. Osim preciznosti karakterizira ga i pouzdanost. Uređaj radi na principu mjerenja valne duljine vidljivog dijela svijetla koje se reflektira o površine mjerenog zuba pritom prikazujući sve tri dimenzije boje (171,172). Može registrirati reflektirane zrake svjetlosti s objekta u vidljivom dijelu spektra između 1-25 nm intervala valne duljine. Unutar samog uređaja nalazi se softver koji nakon mjerenja boje na ekranu pokazuje sve njezine dijelove, pomoću kojih se može izračunati ΔE (173).

U usporedbi s opažanjima ljudskog oka ili konvencionalnim tehnikama, otkriveno je da su mjerenja spektrofotometra točnija za 33 % i pouzdana u 93,3% slučajeva (172). Najveća mu je prednost što različiti uvjete osvjetljenja ne utječu na dobivene rezultate, s obzirom da je svjetlost u prostoru u kojem s provodi mjerenje jedan od čimbenika koji utječe na određivanje boje zuba (174). Prednost mu je jednostavnost prilikom rukovanja tako da stomatolog ima mogućnost preciznog i brzog određivanja boje zuba. Bilježi velik broj informacija koji se odnose na reflektirane zrake svjetlosti, ali glavni mu je nedostatak visoka cijena samog uređaja.

Od predstavnika na tržištu u stomatologiji najčešće korišteni su VITA Easyshade V (VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) i SpectroShade Micro (MHT, Verona, Italija). Spektrofotometar VITA Easyshade V digitalni je uređaj pete generacije za određivanje boje zuba. Sadrži čitav niz opcija, koje osim određivanja boje prirodnog zuba ima mogućnost određivanja boje keramičkog materijala, provjere točnosti ključa boje i digitalnog slanja informacija o boji u zubotehnički laboratorij (175). Mjerenjem VITA Easyshade V dobivamo vrijednosti CIE $L^*a^*b^*$, C i h boje zuba. Uređaj se sastoji od 3 glavna dijela: bazne jedinice, ručnog pištolja i optičkog kabela (176).

Digitalni spektrofotometar VITA Easyshade V postao je referentni uređaj za određivanje boje zuba u kliničkim studijama (176,177,178) i korišten je u brojnim istraživanjima za utvrđivanje boje različitih dentalnih materijala (179,180,181). Brojna su istraživanja potvrdila točnost i ponovljivost mjerenja boje navedenim uređajem (176,180,182,183). Prema studiji Kim-Pusateri i suradnika Vita Easyshade pokazao se točan u 92,3 % mjerenja i ponovljiv u 96,4% (184) U istraživanju u kojem se ispitalo mišljenje studenata različitih europskih fakulteta dentalne medicine o vizualnoj i digitalnoj metodi određivanja boje zuba, najčešći citirani uređaj za digitalno određivanje boje bio je VITA Easyshade V (185).

Korištenjem VITA Easyshade V uređaja prirodnu je boju zuba moguće izmjeriti na nekoliko načina. Mjerni dio promjera VITA Easyshade V iznosi 5 mm, za razliku od nekih drugih sličnih uređaja kojima je mjerni dio puno većeg promjera. To mu osigurava točnije mjerenje boje znatno manjeg područja. Ima mogućnost mjerenja vrlo male, srednje i velike površine zuba (176). Prije mjerenja boje zuba na glavnog izbornika odabire se željeni način mjerenja. Prije svake uporabe na mjerni dio uređaj postavlja se jednokratna plastična zaštita koja služi za sprječavanje prijenosa infekcije. Također prije svakog mjerenja potrebno je uređaj kalibrirati prema uputama proizvođača prislanjanjem nastavka na bijelu keramičku pločicu. Važno je pločicu tijekom kalibracije odmaknuti od jakog izvora svjetlosti. Ako imamo više istih uređaja, uvijek koristiti pločicu od pripadajućeg uređaja. Nakon uspješne kalibracije na zaslonu uređaja pojavi se glavni izbornik i uređaj je spreman za rad. Za točno mjerenje, uređaj je važno postaviti točno okomito na površinu zuba koju mjerimo.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Cilj je ovog istraživanja bio:

- ispitati postoji li razlika u $L^*a^*b^*$ vrijednostima na RAW i JPEG kalibriranim i nekalibriranim fotografijama s obzirom na 5 različitih osvjetljenja korištenih pri fotografiranju s tri različita pametna telefona
- ispitati postoji li razlika između kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW i JPEG fotografijama istog pametnog telefona
- ispitati postoji li razlika između kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW i JPEG fotografijama triju pametnih telefona
- usporediti kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW i JPEG fotografijama triju pametnih telefona s istim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima u istim točkama uporabom spektrofotometra

HIPOTEZE:

1. vrsta osvjetljenja ne utječe na $L^*a^*b^*$ vrijednosti digitalno izmjerene na fotografijama
2. postupak digitalne kalibracije fotografije pomoću sive kartice ne utječe na $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na fotografijama
3. vrsta mobilnog uređaja ne utječe na $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na fotografijama
4. $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene spektrofotometrom i digitalno na fotografijama ne razlikuju se.

3. ISPITANICI I POSTUPCI

3.1. Ispitanici

Istraživanje je provedeno na 50 ispitanika. Istraživanjem su obuhvaćeni ispitanici s gornjim desnom središnjim sjekutićem bez ispuna i karijesa, endodontskih zahvata i protetskih nadomjestaka, postojanja parodontnih bolesti ili bilo kojeg oblika diskoloracija te oni koji nemaju fiksnih ortodontskih retainera i nisu provodili terapiju izbjeljivanja zubi unazad godinu dana. Svakom je ispitaniku prije uključivanja u istraživanje uzeta anamneza te je napravljen klinički pregled. Svrha je anamneze i kliničkog pregleda isključivanje ispitanika koji ne ispunjavaju zadane kriterije. Na temelju nabrojenih kriterija ukupno je isključeno 5 ispitanika i 45 je u konačnici sudjelovalo u istraživanju (31 ženskog i 14 muškog spola).

3.2. Materijali

Dio aparature korištene za ovo istraživanje financiran je iz sredstava Sveučilišne potpore od 2017.-2020. godine pod voditeljstvom prof. dr. sc. Dubravke Knezović Zlatarić. Iz projekta nabavljeni su spektrofotometar VITA Easyshade V (VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Njemačka), Smile Lite MDP (Smile Lite MDP, St-Imier, Švicarska), retraktori (Spandex, Hager & Werken, Duisburg, Njemačka) i kompjuterski program Adobe Photoshop Lightroom 6 (version 6.0, San Jose, Kalifornija, SAD). Preostali materijali nabavljeni su vlastitim sredstvima istraživača.

3.3. Postupci

3.3.1. Mjerenje boje spektrofotometrom

Prije digitalne metode određivanja boje zuba, zubi su očišćeni četkicom i pastom za poliranje (Proxymet RDA 83; Ivoclar Vivadent, Liechtenstein). Svakom ispitaniku potom je stavljen retraktor (Spandex, Hager & Werken, Duisburg, Njemačka) radi odmicanja usnica i obraza, a mjerno područje zuba označeno pomoću žiga i crvenog vodootpornog markera. Mjerno područje zuba bila je središnja trećina krune zuba gornjeg desnog središnjeg sjekutića.

Označena crvenom bojom, središnja trećina krune zuba ujedno je i točka fokusa prilikom fotografiranja. Boja zubi određena je digitalnom metodom određivanja boje pomoću spektrofotometrijskog uređaja VITA Easyshade V (VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Njemačka)(Slika 8a i 8b). Uređaj je prije svakog mjerenja prethodno kalibriran prema uputama proizvođača. Za svakog ispitanika korištena je jednokratna prozirna kapica koja se stavlja na probu ručnog pištolja spektrofotometra. Nakon mjerenja se skida i zamjenjuje novom. Spektrofotometrijsko mjerenje vrijednosti boje zuba izražava se u tri parametra boje - $L^*a^*b^*$, koji se očitaju s ekrana s donje strane pištolja spektrofotometra (Slika 9). U ovom istraživanju mjerenje boje zuba spektrofotometrom ujedno predstavlja kontrolno mjerenje.



Slika 8a i 8b. Mjerenje boje zuba Vita Easy Shade V spektrofotometrom



Slika 9. Ekran Vita Easy Shade V spektrofotometra. Na ekranu se očitava boja zuba te $L^*a^*b^*$ vrijednosti

3.3.2. Mobile dental photography set-up protokol

Nakon određivanja boje zuba svi ispitanici su fotografirani u istoj prostoriji bez izvora prirodne svjetlosti (bez prozora), uz neonsko osvjetljenje (4 x 120 cm, 36 W, boja 765, Philips, Hamburg, Njemačka), temperaturu svjetlosti 5080 K i 500 luksa izmjerenih kolorimetrom Chroma-2 (Lisun Electronics, Shanghai, Kina) na Zavodu za mobilnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Za početno fotografiranje i mjerenje odabrana su dva ispitivača kojima su testirani sposobnost prepoznavanja boja Ishihara testom (ne smiju imati više od dvije pogreške) te je provjerena njihova unutarnja i međusobna pouzdanost. Za fotografiranje i digitalno mjerenje u ovom istraživanju odabran je ispitivač koji je pokazao više vrijednosti intraklasnih koeficijenata korelacije u oba testiranja.

Svi ispitanici su fotografirani u stojećem položaju uspravne glave naslonjeni na zid s postavljenim retraktorom u ustima. Ispitanici prilikom fotografiranja drže sivu karticu (WhiBal, Michael Tapes De-sign, SAD) ispod gornjih frontalnih zubi koja služi kao kalibrator boje pri digitalnoj analizi fotografija (Slika 10).

Sve fotografije u ovom istraživanju snimljene su Smile Lite Mobile Dental Photography osvjetljivačem (Smile Lite MDP, St-Imier, Švicarska). Smile Lite MDP postavljen je na stativ

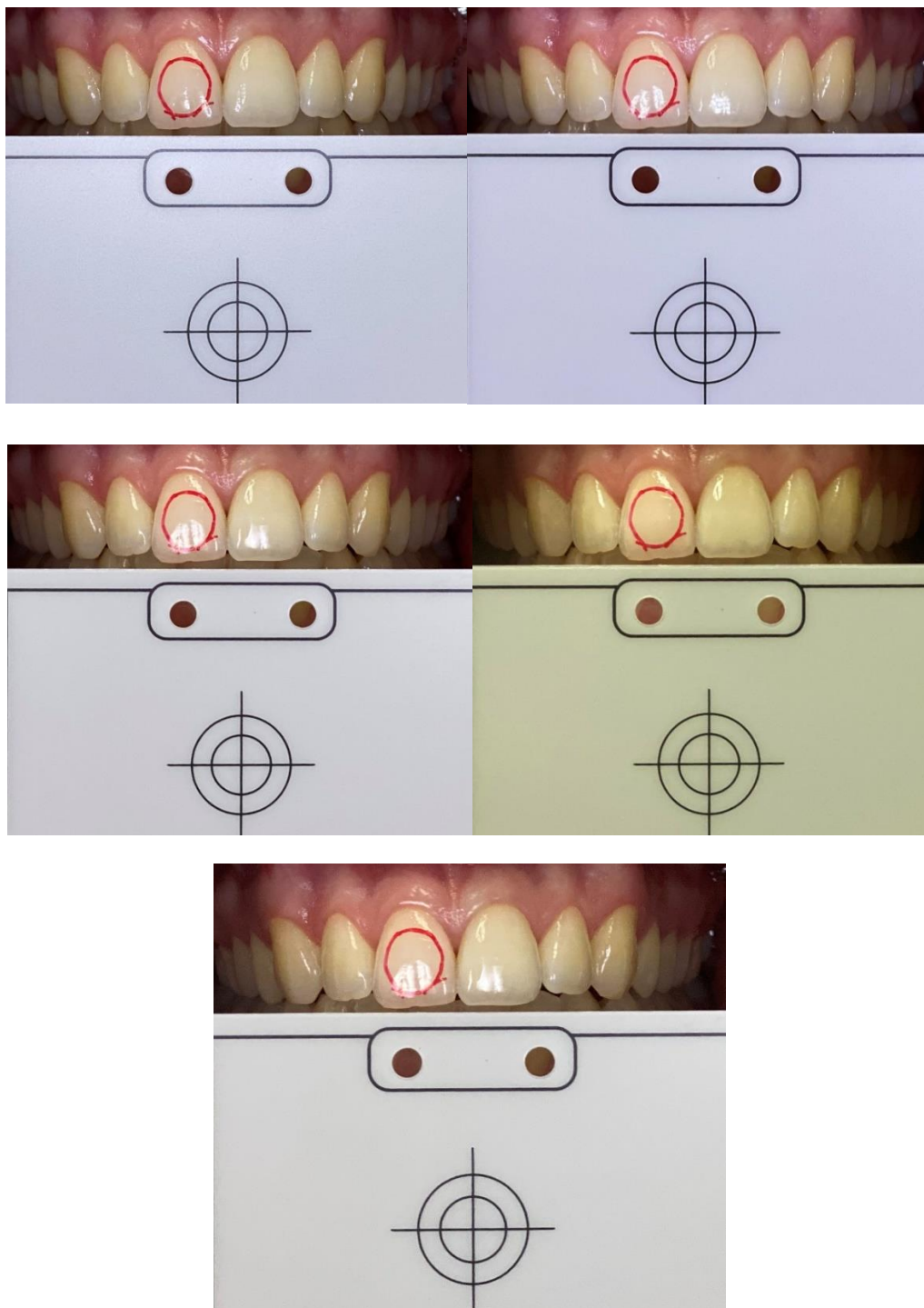
(Metz LS-247, Zirndorf, Njemačka) radi isključivanja mogućnosti ispitivačeva pomaka rukom prilikom fotografiranja na udaljenosti 15-20 cm od ispitanika, te paralelno s vestibularnom stijenkom zuba kako bi se izbjegla moguća distorzija slike. U Smile Lite MDP uređaj postavljana su tri različita pametna telefona za fotografiranje frontalnih zubi. Prilikom svake zamjene pametnih telefona u uređaju ispitanicima je izvađen retraktor iz usta kako bi se spriječila njegova dehidracija (186). Od pametnih telefona korišteni su: Samsung S9+ (Seul, Južna Koreja), Huawei Pro20 (Shenzhen, Guangdong, Kina) i iPhone 11 Pro (Apple, Cupertino, Kalifornija, SAD). Svi pametni telefoni prilikom fotografiranja postavljeni su na profesional mode. Na iPhone 11 Pro pametnom telefonu postavke profesional modea postavljene su pomoću aplikacije Yammera (Apple, Cupertino, Kalifornija, SAD). Na opciji profesional mode odabrane su vrijednosti osjetljivost senzora kamere (ISO), temperatura boje (WB), otvor blende ili aperture (f) te brzina okidača kamere ili shutter speed (SS). Namještene postavke na kamerama pametnih telefona prikazane su u Tablici 1.

Tablica 1. Postavke kamere pametnih telefona

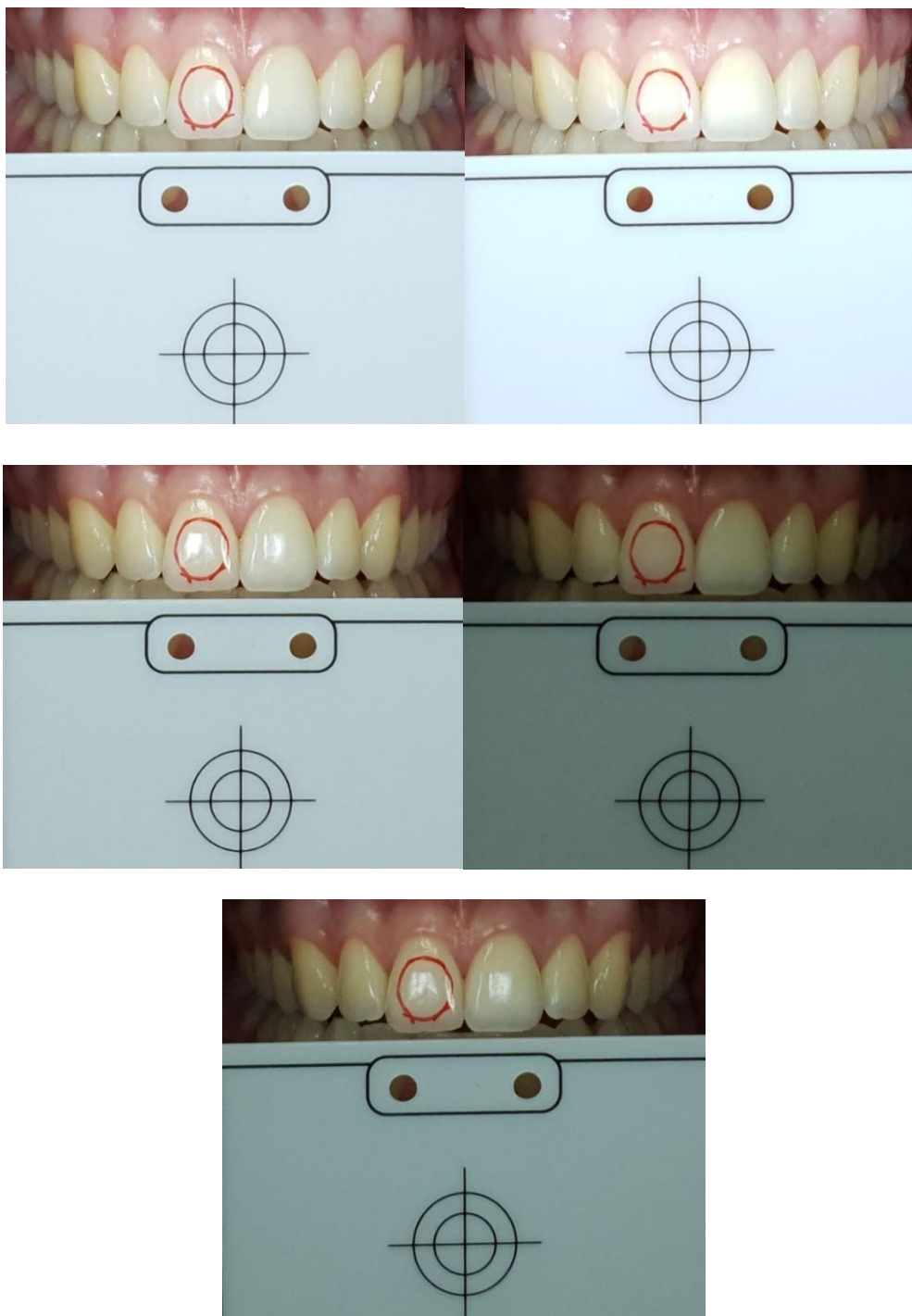
Pametni telefon	ISO	SS	Apertura - f	WB	Rezolucija
Samsung S9+	100	1/125	1,5	5500 K	12 MP
Huawei Pro20	100	1/125	2,0	5500 K	10 MP
iPhone 11 Pro	100	1/125	2,0	5500 K	12 MP

Svakome ispitaniku izrađeno je ukupno 30 različitih fotografija u dva formata (RAW i JPEG), po 15 za svaki format fotografija. U svakom formatu snimljeno je 5 fotografija s 5 različitih osvjetljenja trima različitim pametnim telefonima. Prva fotografija je fotografirana uključenim frontalnim svjetlom (F) na Smile Lite MDP-u, druga fotografija s uključenim lateralnim svjetlom (L), treća s uključenim lateralnim svjetlom i postavljenim difuzorima (D), četvrta s uključenim frontalnim svjetlom i postavljenim polarizacijskim filterom (P) tzv. polarizacijsko osvjetljenje i posljednja fotografija s uključenim frontalnim i lateralnim svjetlom te postavljenim difuzorima i polarizacijskim filterom tzv. hibridno osvjetljenje (H) s LED svijetlećom diodom rasvjetnom diodnom rasvjetom pune snage. Prilikom fotografiranja

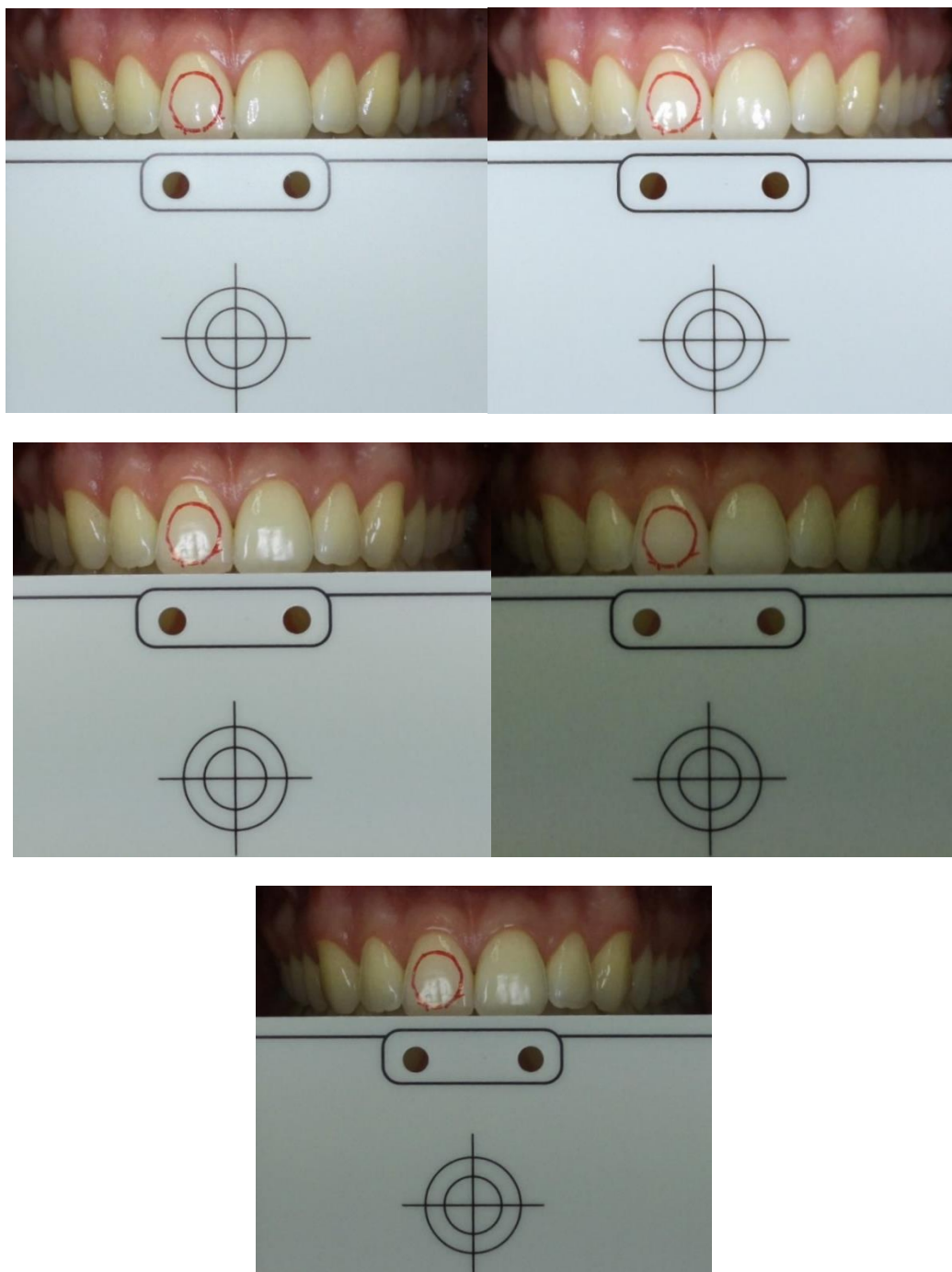
svakom ispitaniku fotografije su snimane istim redoslijedom osvjetljenja kako je gore navedenom (Slika 10, 11 i 12) svakim od tri pametna telefona.



Slika 10. Fotografije JPEG forma snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom u različitim uvjetima osvjetljenja (prva red gore lijevo – (F) osvjetljenje, druga slika gore desno – (L) osvjetljenje, drugi red lijevo – (D) difuzori, drugi red desno (P) – polarizacijski filter i treći red (H) – hibridno osvjetljenje



Slika 11. Fotografije JPEG format snimljene Samsung S9+ pametnim telefonom u različitim uvjetima osvjetljenja (prva red gore lijevo – (F) osvjetljenje, druga slika gore desno – (L) osvjetljenje, drugi red lijevo – (D) difuzori, drugi red desno (P) – polarizacijski filter i treći red (H) – hibridno osvjetljenje



Slika 12. Fotografije JPEG format snimljene Huawei P20 Pro pametnim telefonom u različitim uvjetima osvjetljenja (prva red gore lijevo – (F) osvjetljenje, druga slika gore desno – (L) osvjetljenje, drugi red lijevo – (D) difuzori, drugi red desno (P) – polarizacijski filter i treći red (H) – hibridno osvjetljenje

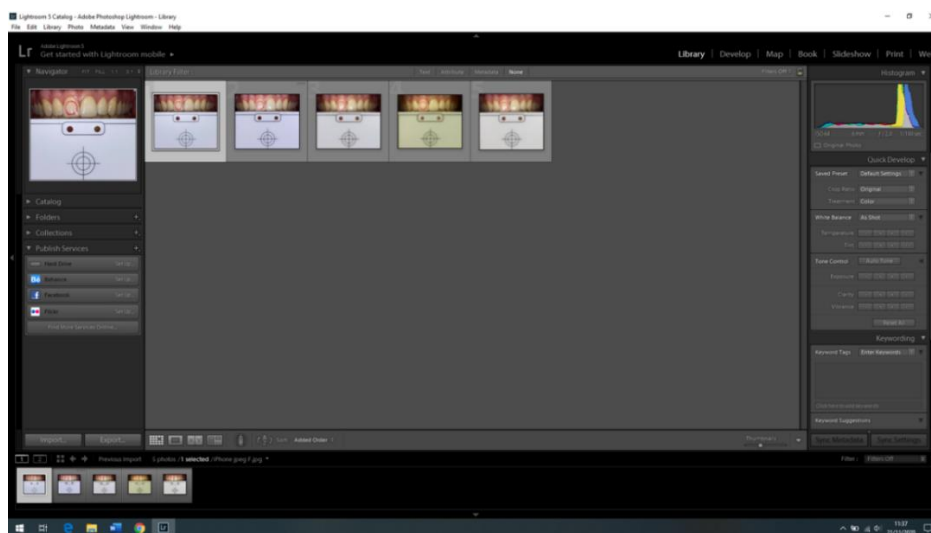
3.3.3. Analiza fotografija

Sve fotografije su prebačene u kompjuterski program Adobe Photoshop Lightroom 6 (Adobe, San Jose, Kalifornija, SAD) (Slika 13) u „Develope Mode-u“ (Slika 14). Mjerenja u kompjuterskom programu obavljena su na dva načina: s kalibracijom sive kartice i bez kalibracije. Mjerenje u kojem je izvršena kalibracija sive kartice rađeno je na vrijednosti $L=75$, $a=0$ i $b=0$ (62), s dopuštenim odstupanjem od 0,5 za sve navedene vrijednosti. Za kalibraciju balansa bijele boje svake fotografije morao je biti izveden pomoću sonde za mjerenje postavljene na jedan od četiri siva segmenta na kartici (Slika 15), dok se ravnoteža ekspozicije slike podešava postavljanjem svjetlosti L^* na 75 %, a vrijednosti a^* i b^* na 0 na histogramu (Slika 16 i 17).

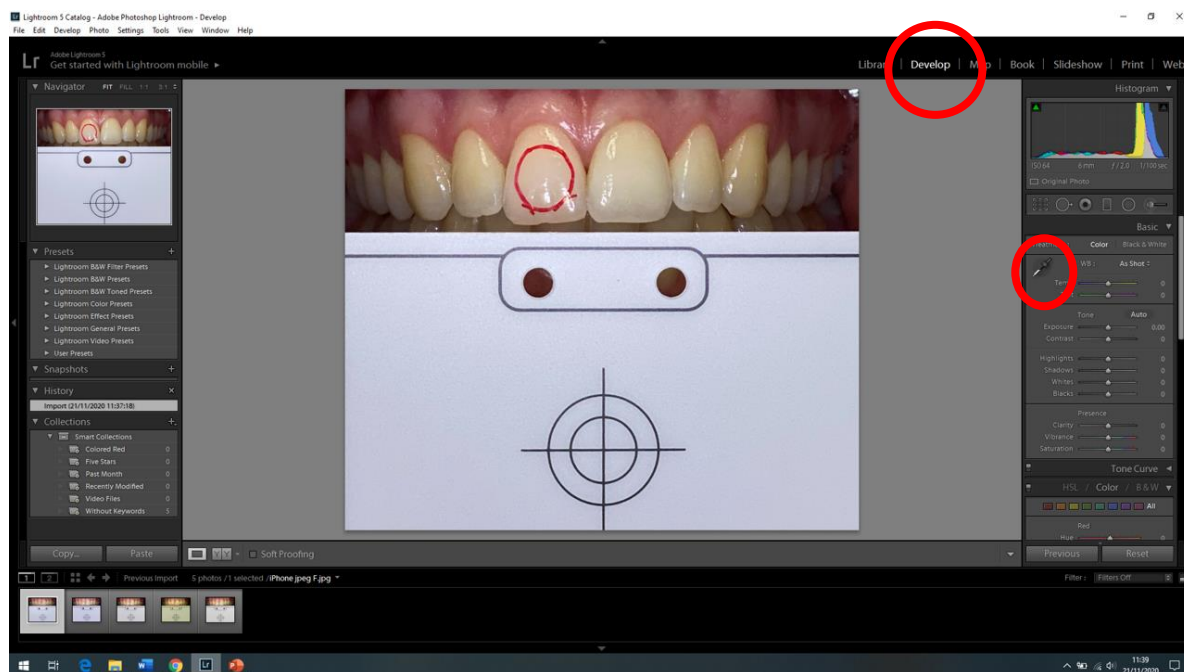
Veličina otvora za mjerenje postavljena je na 0,5 x 0,5 mm (Digitalni kolorimetar, Microsoft, Redmond, Washington, SAD).

Zatim je provedeno mjerenje vrijednosti CIE $L^*a^*b^*$ na zubu, postavljajući mjernu sondu točno u sredinu crvenog kruga prethodno označenog na svakom gornjem desnom središnjem sjekutiću (Slika 18). Pri mjerenju bez kalibracije, mjerenje vrijednosti CIE $L^*a^*b^*$ na zubu provodilo se odmah na zubu, bez prethodnog kalibriranja pomoću sive kartice.

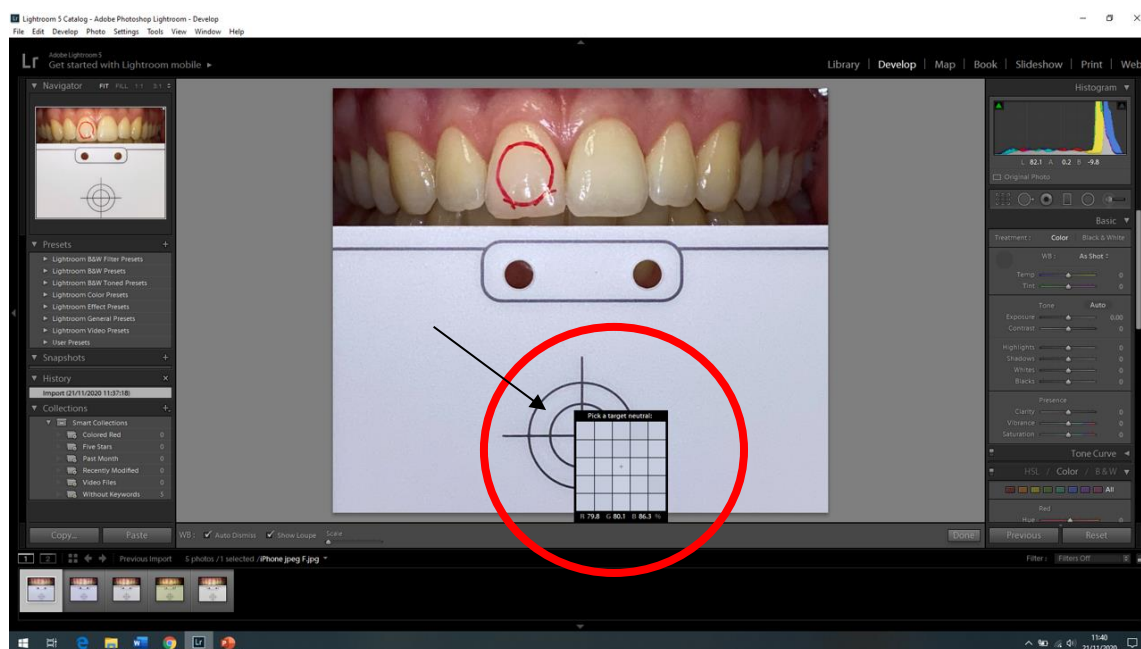
Zatim su dobivene vrijednosti boja na fotografijama uspoređene s vrijednostima dobivenima spektrofotometrom VITA Easyshade V.



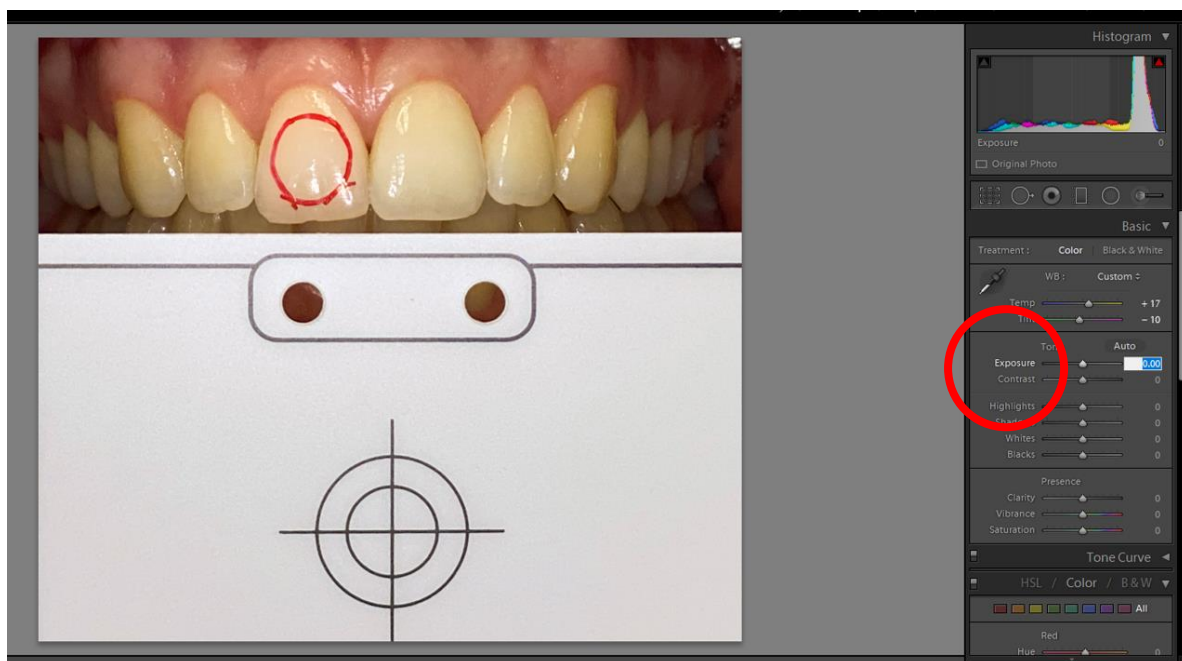
Slika 13. Prebacivanje fotografije u kompjuterski program Adobe Photoshop Lightroom 6.



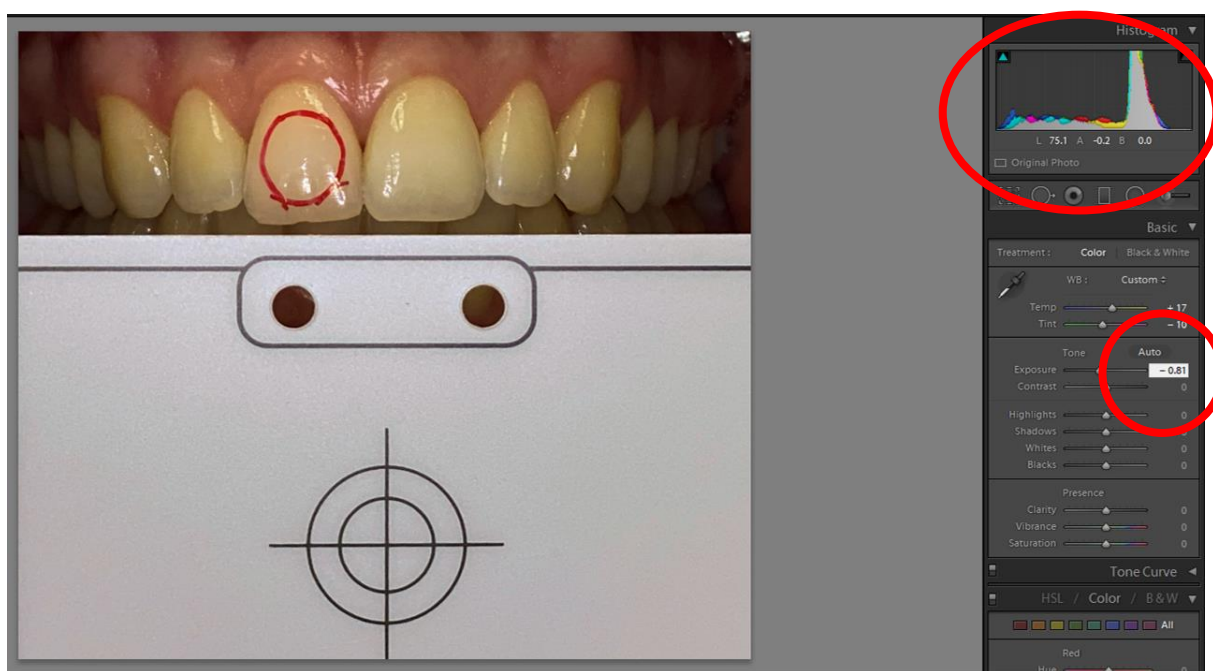
Slika 14. Odabiranje opcije „develope“ za obradu fotografije i postupak kalibracije sive kartice pipetom



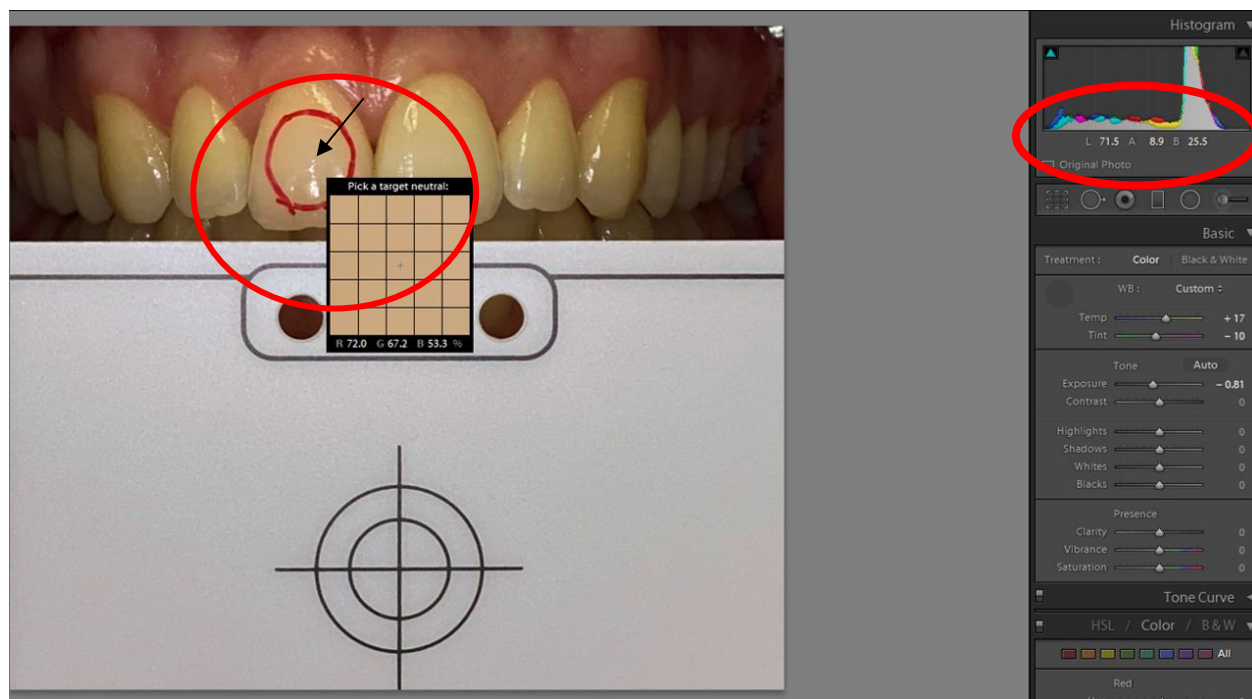
Slika 15. Za kalibraciju fotografije pipeta se stavlja na bilo koje područje unutar kruga na kartici



Slika 16. Nakon klika unutar kruga sive kartice bira se opcija „exposure“



Slika 17. Opcija exposure se prilagođava dok se na histogramu ne dobiju vrijednosti $L=75$, $a=0$ i $b=0$



Slika 18. Pipeta se postavlja unutar sredine označenog crvenog kruga na zubu i očitavaju se na histogramu $L^*a^*b^*$ vrijednosti.

3.4. Etičnost istraživanja i sukob interesa

Procjena etičnosti zatražena je prije početka istraživanja. Istraživanje je pozitivno ocijenilo Etičko povjerenstvo Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Svaki sudionik istraživanja dragovoljno se uključio u istraživanje, a sudjelovanje u istraživanju potvrdio je potpisivanjem informiranog pristanka. Autori istraživanja izjavljuju da prilikom izrade ovoga rada nisu bili u sukobu interesa.

3.5. Statistička analiza

1. snaga statističkog testa – Univarijatna analiza varijance (ANOVA)
2. razlika u $L^*a^*b^*$ vrijednostima na RAW i JPEG kalibriranim i nekalibriranim fotografijama s obzirom na 5 različitih osvjetljenja korištenih pri fotografiranju svakim mobilnim uređajem – ANOVA (Bonferroni post hoc korekcija)

3. usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW i JPEG fotografijama istog mobilnog uređaja – t-test za zavisne uzorke
4. usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW i JPEG fotografijama triju mobilnih uređaja – oneway MANOVA testom (General Linear Model – multivariate) (Bonferroni post hoc korekcija)
5. usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW i JPEG fotografijama triju mobilnih uređaja s istim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima u istim točkama uporabom spektrofotometra – t-test za zavisne uzorke

4. REZULTATI

4.1. Određivanje veličine uzorka

Veličina uzorka u ovom istraživanju određena je analizom snage statističkog testa kojom se otkriva statistički značajna razlika koja doista postoji, a da se pritom pogreška tipa 2 (β - nepostojanje razlike u ukupnoj populaciji koja zapravo postoji) smanji na najnižu moguću mjeru. Ona ovisi o odabranoj veličini uzorka u istraživanju, učinku, razini, značajnosti i snazi testa.

U ovom istraživanju snaga statističkog testa testirana je na $L^*a^*b^*$ vrijednostima očitanim na RAW fotografijama snimljenim iPhone pametnim telefonom (bez dodatne kalibracije) uz korištenje 5 različitih vrsta osvjetljenja na uzorku 45 ispitanika. U tu je svrhu korišten statistički test Univarijatne analize varijance (ANOVA) gdje su izmjerene $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama predstavljale zavisne varijable, a 5 različitih vrsta osvjetljenja fiksnu varijablu.

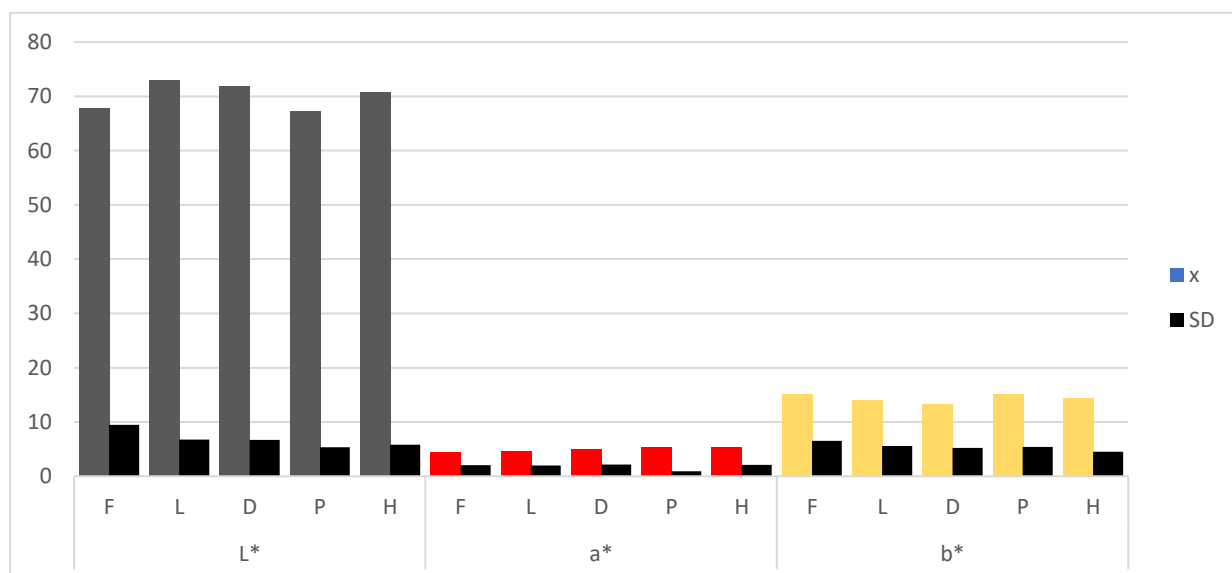
Tablica 2. P vrijednost, učinak i snaga testa (%) na uzorku od 45 nekalibriranih RAW iPhone fotografija (N) u 5 različitih uvjeta osvjetljenja

		<i>N</i>	<i>p</i> vrijednost	<i>učinak</i>	<i>snaga</i>
<i>Nekalibrirana RAW fotografija</i>	L^*	45	0.000	0.333	100%
	a^*	45	0.000	0.645	100%
	b^*	45	0.000	0.277	100%

Statističkom je analizom utvrđeno kako na uzorku 45 ispitanika, kojima su iPhone pametnim telefonom izrađene RAW fotografije u 5 različitih osvjetljenja te potom na njima izmjerene vrijednosti boje bez kalibracije sive kartice za $L^*a^*b^*$ vrijednosti uz p vrijednost od 0.000 i veličinu učinka od 0.277 do 0.645, postoji 100-postotna vjerojatnost da je dokazano da statistički značajna razlika postoji upravo gdje ona zaista i jest, odnosno da na toj veličini uzorka ne postoji mogućnost pojave lažno negativnog nalaza (pogreške tipa 2; β pogreška) (Tablica 2). Istodobno je pogreška tipa 1 (α pogreška) postavljena na 0.5. odnosno na 5% vjerojatnosti za pojavu lažno pozitivnog nalaza.

4.2. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

Srednje su vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW fotografijama s iPhone mobilnog uređaja u pet različitih osvjetljenja prikazane na Slici 19. Najniže L^* vrijednosti zabilježene su pri uporabi polarizacijskog filtera (P), a najviše pri korištenju lateralnog svjetla (L) i ta je razlika bila statistički značajna ($p < 0.05$; Tablica 3.). Najniža a^* vrijednost zabilježena je pri frontalnom svjetlu (F), a najviša pri polarizacijskom filteru (P) i razlika nije bila statistički značajna ($p > 0.05$; Tablica 3.). Vrijednosti b^* bile su najviše pri frontalnom svjetlu (F) i najniže pri difuzoru (D), ali se nisu značajno razlikovale ($p > 0.05$; Tablica 3.).

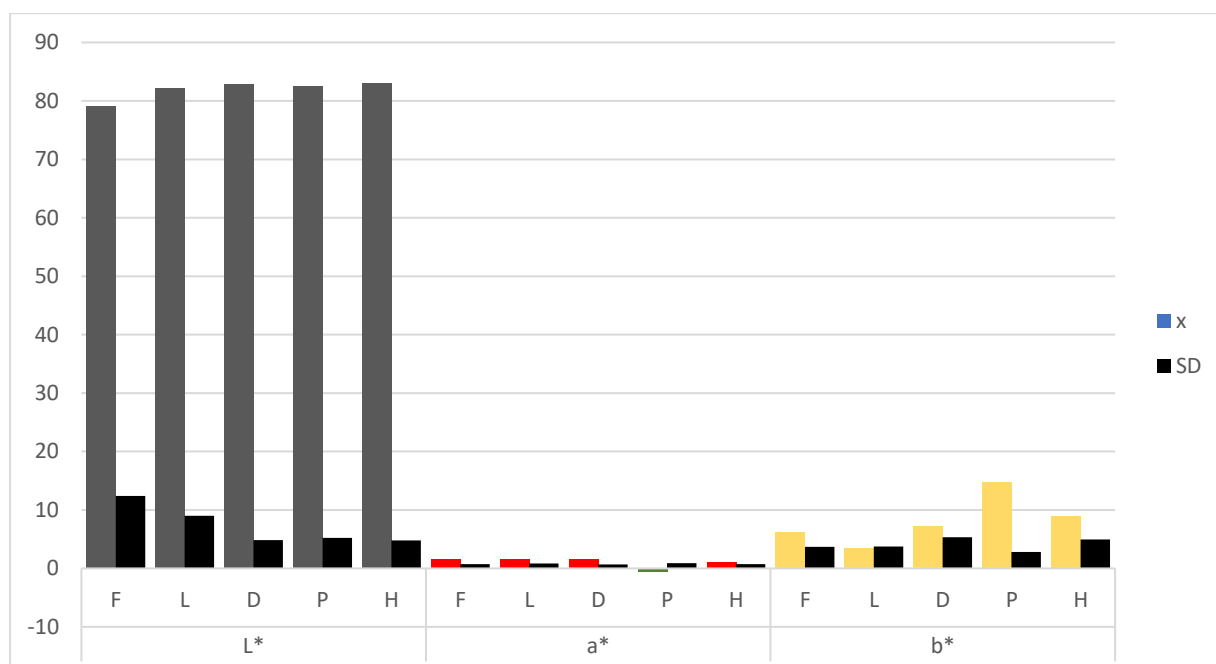


Slika 19. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 3. Značajnost razlike (p) u kalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama s iPhone pametnim telefonom ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F = F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	6.096	0.000
a^*	4	1.816	0.127
b^*	4	0.931	0.447

Na slici 20. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama s iPhone pametnim telefonom u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter). Najniže su L^* vrijednosti zabilježene pri fotografiranju frontalnim svjetlom, a najviše pri uporabi hibridnog filtera, ali razlika nije dosegla razinu značajnosti ($p > 0.05$; Tablica 2.). Sve a^* vrijednosti RAW iPhone fotografija s iznimkom polarizacijskog filtera (P) bile su gotovo podjednake i iznosile prosječno 1.4, dok su one pri polarizacijskome bile najniže, jedine negativnog predznaka i iznosile prosječno -0.68 (Slika 20). Ova je razlika bila značajna ($p < 0.05$; Tablica 4.). U b^* vrijednostima je statistički značajna razlika pronađena između nekalibriranih RAW fotografija fotografiranih lateralnim svjetlom (L) čije su vrijednosti bile najniže i onih fotografiranih s polarizacijskim filterom (P) čije su vrijednosti bile najviše ($p < 0.05$; Tablica 4.).



Slika 20. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

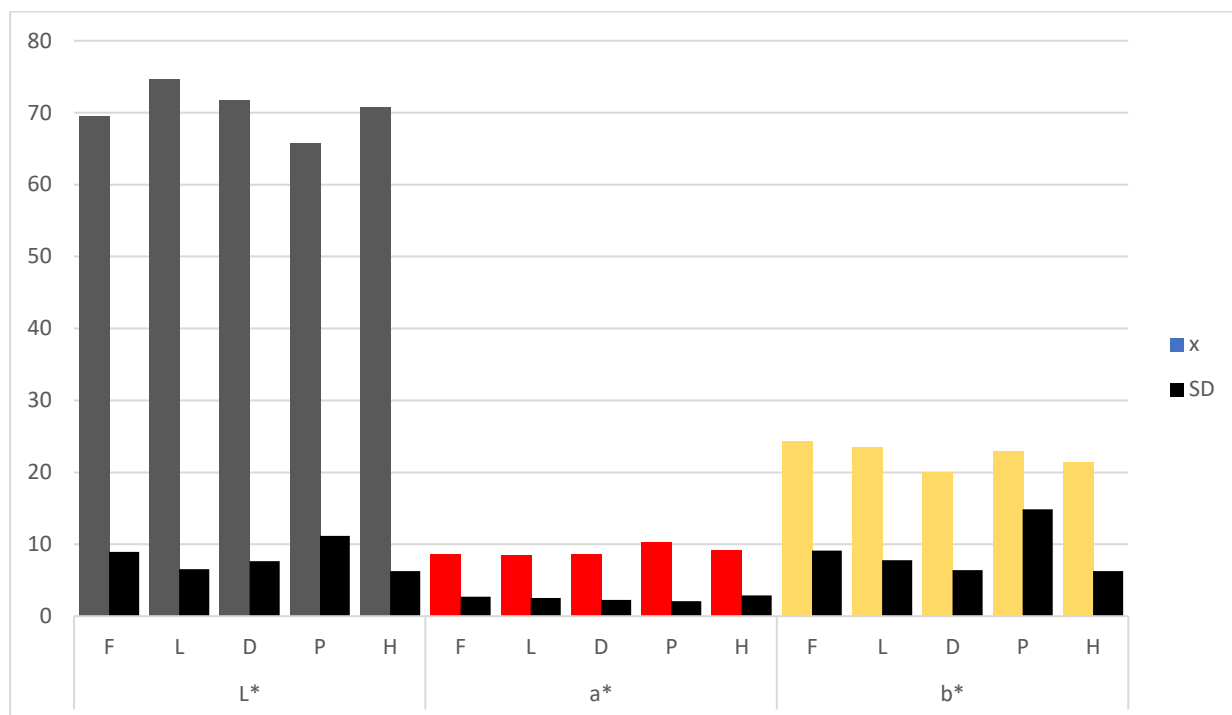
Tablica 4. Značajnost razlike (p) u nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F =F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	1.864	0.118
a^*	4	68.473	0.000
b^*	4	21.036	0.000

4.3. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u pet različitih osvjetljenja prikazane su na

Slici 21. Najniže L^* vrijednosti zabilježene su na JPEG fotografijama s polarizacijskim filterom (P), a najviše na onima s lateralnim osvjetljenjem, što se i statistički značajno razlikovalo ($p < 0.05$; Tablica 5.). Najniže a^* vrijednosti na toj vrsti fotografija pronađene su pri lateralnom svjetlu (L), a najviše pri polarizacijskom filteru (P) i ta je razlika također bila značajna ($p < 0.05$; Tablica 5.). Izmjerene b^* vrijednosti nisu se statistički razlikovale ($p > 0.05$; Tablica 5.).

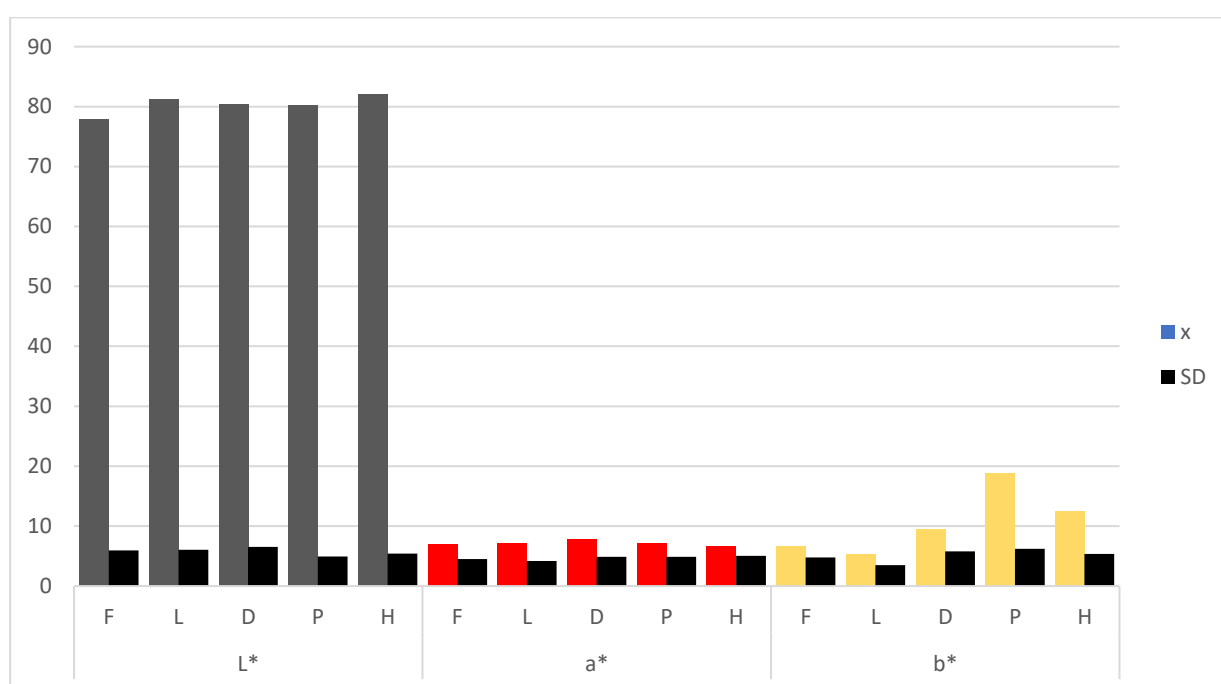


Slika 21. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 5. Značajnost razlike (p) u kalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F =F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	6.967	0.000
a^*	4	3.957	0.004
b^*	4	1.553	0.188

Na slici 22. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hipridni filter). Najniže L^* vrijednosti zabilježene su na JPEG fotografija sa frontalnim svjetlom (F). a najviše sa hibridnim filterom (H) razlika je bila statistički značajna ($p < 0.05$; Tablica 6.). Izmjerene a^* vrijednosti na svim testiranim fotografijama nisu se značajno razlikovale ($p > 0.05$; Tablica 6.). Najniže b^* vrijednosti zabilježene su na fotografijama s lateralnim svjetlom (L), a najviše na onima s polaroidnim filterom i ta je razlika bila statistički značajna ($p < 0.05$; Tablica 6.).



Slika 22. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hipridni filter)

Tablica 6. Značajnost razlike (p) u nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama s iPhone mobilnog uređaja ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; $F=F$ vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	3.165	0.015
a^*	4	0.215	0.930
b^*	4	40.123	0.000

4.4. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

U tablici 7. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama s iPhone mobilnog uređaja u 5 različitih osvjetljenja. Vidljivo je da se vrijednosti istog mjerenja s kalibracijom i bez nje u 5 vrsta osvjetljenja razlikuju, i u većini slučajeva ta je razlika i značajna ($p < 0.05$; Tablica 8.). Sve su L^* vrijednosti na svim osvjetljenjima u RAW formatu iPhone fotografija više kada nije primijenjena kalibracija ($p < 0.05$; Tablica 8.). Sve a^* vrijednosti u istim mjerenjima uvijek su kod nekalibriranih iPhone fotografija značajno niže ($p < 0.05$; Tablica 8.). Isti je rezultat vidljiv i kod b^* vrijednosti jer su one također niže kod nekalibriranih iPhone fotografija, iako pri polarizirajućem filteru (P) nisu dosegle razinu značajnosti ($p > 0.05$; Tablica 8.).

Tablica 7. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

			$\bar{x}$	SD
<i>F</i>	L^*	kalibrirana	67.75	9.48
		nekalibrirana	79.19	12.43
	a^*	kalibrirana	4.50	2.03
		nekalibrirana	1.57	0.74
	b^*	kalibrirana	15.08	6.54
		nekalibrirana	6.20	10.71
<i>L</i>	L^*	kalibrirana	73.04	6.77
		nekalibrirana	82.23	8.98
	a^*	kalibrirana	4.58	1.96
		nekalibrirana	1.56	0.85
	b^*	kalibrirana	14.02	5.57
		nekalibrirana	3.46	3.76
<i>D</i>	L^*	kalibrirana	71.95	6.73
		nekalibrirana	82.95	4.83
	a^*	kalibrirana	5.00	2.18
		nekalibrirana	1.59	0.69
	b^*	kalibrirana	13.28	5.24
		nekalibrirana	7.29	5.32

P	L^*	kalibrirana	67.210	5.349
		nekalibrirana	82.511	5.248
	a^*	kalibrirana	5.43	2.31
		nekalibrirana	-0.68	0.92
	b^*	kalibrirana	15.20	5.43
		nekalibrirana	14.76	2.82
H	L^*	kalibrirana	70.73	5.81
		nekalibrirana	83.07	4.78
	a^*	kalibrirana	5.34	2.12
		nekalibrirana	1.05	0.74
	b^*	kalibrirana	14.39	4.52
		nekalibrirana	8.94	4.93

Tablica 8. Značajnost razlike (p) u kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama s iPhone pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; t = t vrijednost) (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

		df	t	p
F	L^*	44	-5.052	0.000
	a^*	44	10.684	0.000
	b^*	44	5.352	0.000
L	L^*	44	-6.039	0.000
	a^*	44	10.84	0.000
	b^*	44	16.277	0.000
D	L^*	44	-16.969	0.000
	a^*	44	10.542	0.000
	b^*	44	7.849	0.000
P	L^*	44	-30.171	0.000
	a^*	44	15.341	0.000
	b^*	44	0.608	0.546
H	L^*	44	-20.278	0.000
	a^*	44	12.645	0.000
	b^*	44	9.23	0.000

4.5. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

U tablici 9. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona uz 5 različitih osvjetljenja. Vidljivo je da su L^* vrijednosti na nekalibriranim JPEG iPhone fotografijama značajno više u svim osvjetljenjima ($p < 0.05$; Tablica 10.). Vrijednosti a^* su u svim osvjetljenjima bile niže na nekalibriranim fotografijama, ali vrlo često je to bilo granično značajno ($p > 0.05$; Tablica 10.). Jednako je tako i u slučaju b^* vrijednosti koje su također u svim osvjetljenjima na nekalibriranim fotografijama bile značajno niže, a u slučaju polarizacijskog filtera (P) na granici značajnosti ($p > 0.05$; Tablica 10.).

Tablica 9. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

			$\bar{x}$	SD
<i>F</i>	L^*	kalibrirana	69.42	8.94
		nekalibrirana	77.93	5.92
	a^*	kalibrirana	8.65	2.73
		nekalibrirana	6.91	4.50
	b^*	kalibrirana	24.37	9.12
		nekalibrirana	6.62	6.79
<i>L</i>	L^*	kalibrirana	74.65	6.53
		nekalibrirana	81.22	6.05
	a^*	kalibrirana	8.48	2.55
		nekalibrirana	7.18	4.19
	b^*	kalibrirana	23.46	7.80

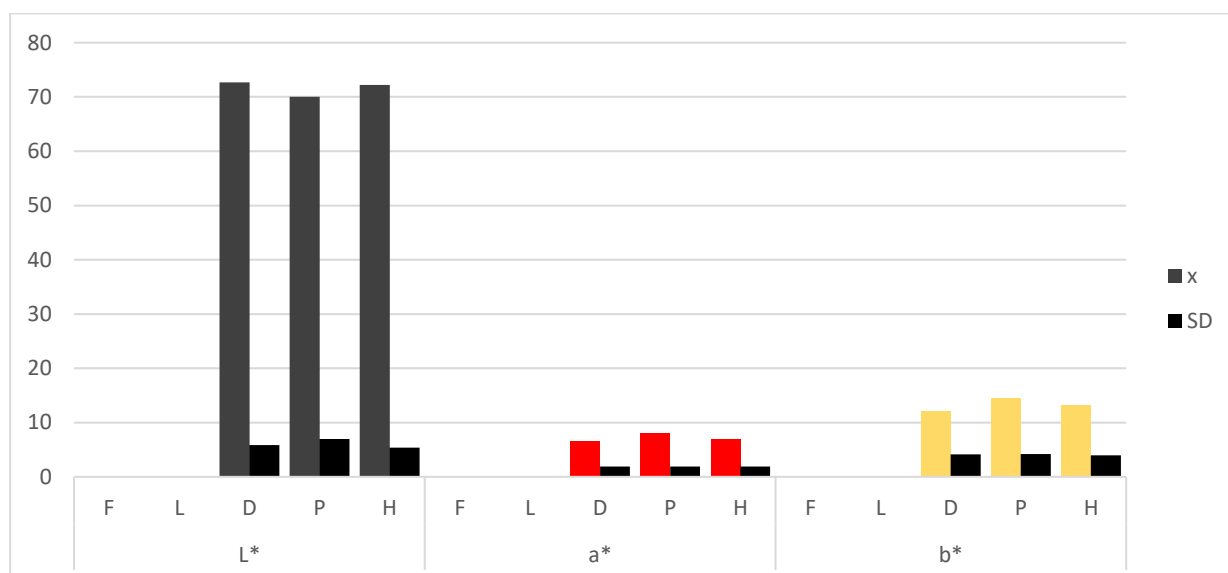
D	L^*	nekalibrirana	4.52	5.25
		kalibrirana	71.78	7.65
	a^*	nekalibrirana	80.43	6.54
		kalibrirana	8.57	2.28
	b^*	nekalibrirana	7.71	4.86
		kalibrirana	19.94	6.42
P	L^*	nekalibrirana	9.53	5.78
		kalibrirana	65.72	11.18
	a^*	nekalibrirana	80.13	4.92
		kalibrirana	10.28	2.09
	b^*	nekalibrirana	7.12	7.87
		kalibrirana	22.87	14.85
H	L^*	nekalibrirana	18.80	6.19
		kalibrirana	70.73	6.28
	a^*	nekalibrirana	82.02	5.44
		kalibrirana	9.13	2.89
	b^*	nekalibrirana	6.70	5.02
		kalibrirana	21.39	6.26
		nekalibrirana	12.38	5.35

Tablica 10. Značajnost razlike (p) u kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama s iPhone pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; t = t vrijednost) (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

		df	t	p
F	L^*	44	-8.42	0.000
	a^*	44	2.218	0.032
	b^*	44	15.337	0.000
L	L^*	44	-8.712	0.000
	a^*	44	1.956	0.057
	b^*	44	18.237	0.000
D	L^*	44	-12.504	0.000
	a^*	44	1.410	0.166
	b^*	44	10.557	0.000
P	L^*	44	-9.798	0.000
	a^*	44	2.749	0.009
	b^*	44	1.753	0.087
H	L^*	44	-24.193	0.000
	a^*	44	3.977	0.000
	b^*	44	8.348	0.000

4.6. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

Na slici 23. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama izrađenima koristeći Samsung mobilni uređaj u 5 različitih osvjetljenja. Na slici je vidljivo da pri frontalnom i lateralnom osvjetljenju nema podataka jer se te fotografije nisu mogle kalibrirati. Na ostalim fotografijama (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hipridni filter) L^* vrijednosti se nisu značajno razlikovale ($p>0.05$; Tablica 11.), dok su a^* i b^* vrijednosti na fotografijama s polarizacijskim filterom bile značajno više od istih vrijednosti na ostalim fotografijama ($p<0.05$; Tablica 11.).

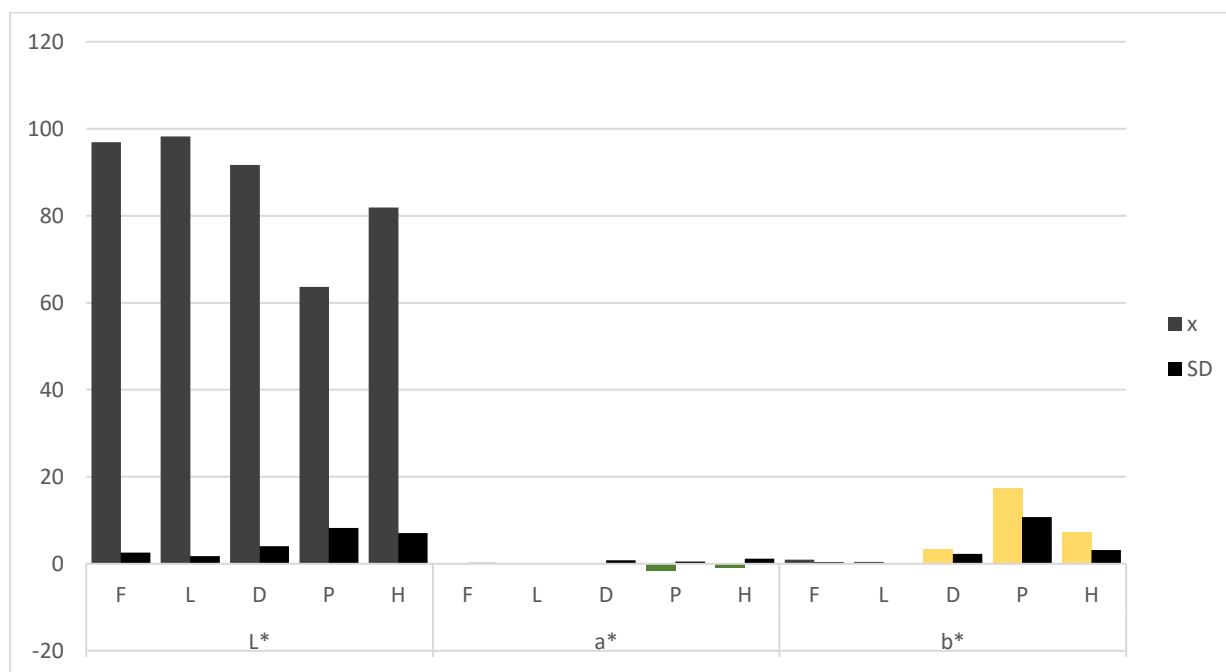


Slika 23. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hipridni filter)

Tablica 11. Značajnost razlike (p) u kalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona ovisno o 3 različite vrste osvjetljenja (df=stupnjevi slobode; F=F vrijednost)

	df	F	p
L^*	2	2.486	0.087
a^*	2	7.068	0.001
b^*	2	4.042	0.020

Na slici 24. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama izrađenima koristeći Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja. Pri ovom postupku na fotografijama izrađenima Samsung mobilnim uređajem bilo je moguće očitati $L^*a^*b^*$ vrijednosti u svim osvjetljenjima. Fotografije s polarizirajućim filterom imale su značajno najniže L^* i a^* vrijednosti te značajno više b^* vrijednosti ($p < 0.05$; Tablica 12.).



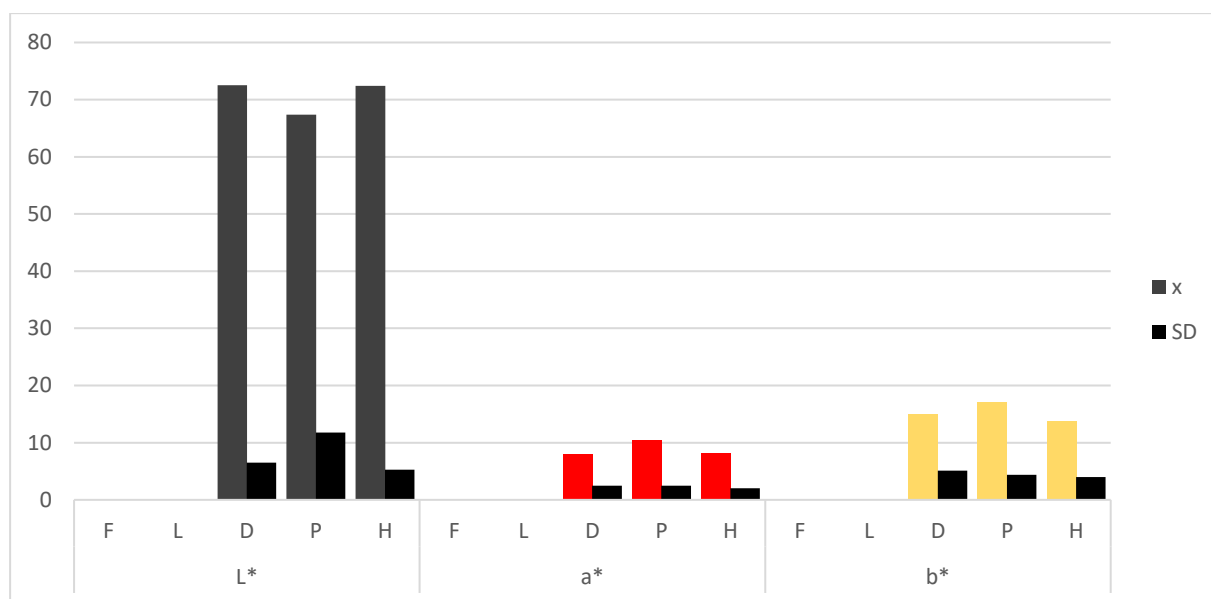
Slika 24. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 12. Značajnost razlike (p) u nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df=stupnjevi slobode; F=F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	320.577	0.000
a^*	4	26.06	0.000
b^*	4	29.441	0.000

4.7. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

Na slici 25. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama izrađenima Samsung pametnim telefonom u 5 različitih osvjetljenja. Pri kalibraciji JPEG formata fotografija postupak kalibracije na fotografijama s frontalnim i lateralnim svjetlom nije bilo moguće provesti kao i u postupku kalibracije RAW fotografija. Na ostalim su se fotografijama $L^*a^*b^*$ vrijednosti značajno razlikovale jer je ona s polarizacijskim filterom imala značajno najniže L^* vrijednosti i značajno najviše a^* i b^* vrijednosti ($P < 0.05$; Tablica 13.).

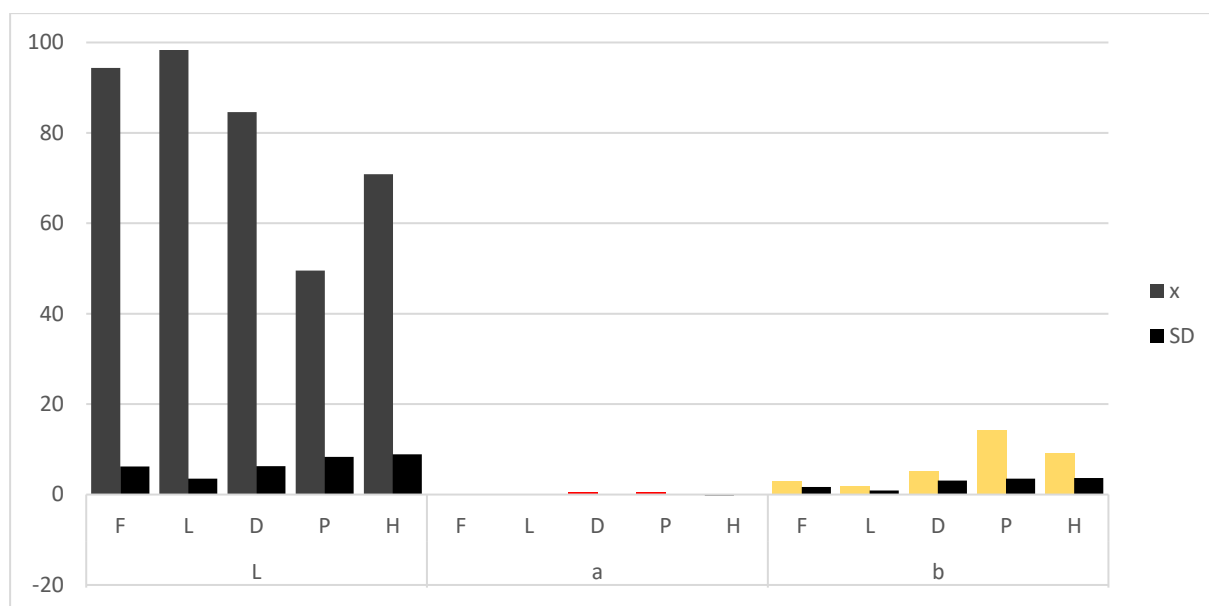


Slika 25. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 13. Značajnost razlike (p) u kalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona ovisno o 3 različite vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F =F vrijednost)

	df	F	p
L^*	2	5.609	0.005
a^*	2	15.443	0.000
b^*	2	5.958	0.003

Na slici 26. prikazane su srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama izrađenima koristeći Samsung pametni telefon u 5 različitim osvjetljenja. Rezultati pokazuju da su se $L^*a^*b^*$ vrijednosti značajno razlikovale u 5 različitim osvjetljenja, sa značajno najnižom L^* vrijednosti te najvišom b^* vrijednosti na fotografiji s polarizacijskim filterom ($p < 0.05$; Tablica 14.).



Slika 26. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 14. Značajnost razlike (p) u nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F =F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	9.145	0.000
a^*	4	4.566	0.001
b^*	4	125.482	0.000

4.8. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja

U tablicama 15. i 16. prikazane su srednje vrijednosti (x), standardne devijacije (SD) i značajnost razlike između $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na istoj RAW fotografiji sa Samsung pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja uz postupak kalibracije i bez njega. S obzirom da

se na fotografijama izrađenima s frontalnim i lateralnim svjetlom nije mogao provesti postupak kalibracije, uspoređene su samo one s difuzorom, polarizacijskim i hibridnim filterom.

Rezultati pokazuju da su na RAW fotografijama s difuzorom i hibridnim filterom nekalibrirane L^* vrijednosti značajno više, a a^* i b^* vrijednosti značajno niže, dok su na onoj s polarizacijskim filterom L^* i a^* vrijednosti značajno niže, a b^* vrijednost granično viša ($P < 0.05$; Tablice 15. i 16.).

Tablica 15. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

			$\bar{x}$	SD
<i>D</i>	L^*	kalibrirana	72.71	5.86
		nekalibrirana	91.70	4.02
	a^*	kalibrirana	6.56	1.93
		nekalibrirana	0.14	0.79
	b^*	kalibrirana	12.10	4.13
		nekalibrirana	3.30	2.26
<i>P</i>	L^*	kalibrirana	70.00	6.97
		nekalibrirana	63.67	8.21
	a^*	kalibrirana	8.02	1.91
		nekalibrirana	-1.48	0.51
	b^*	kalibrirana	14.55	4.19
		nekalibrirana	17.28	8.73
<i>H</i>	L^*	kalibrirana	72.18	5.37

a*	nekalibrirana	81.90	7.05
	kalibrirana	6.92	1.91
b*	nekalibrirana	-0.87	1.16
	kalibrirana	13.23	3.98
	nekalibrirana	7.26	3.14

Tablica 16. Značajnost razlike (p) u kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama sa Samsung pametnog telefona ovisno o 3 različite vrste osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; t = t vrijednost) (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

		df	t	p
D	L*	44	-26.836	0.000
	a*	44	27.730	0.000
	b*	44	19.579	0.000
P	L*	44	5.501	0.000
	a*	44	42.628	0.000
	b*	44	-0.977	0.334
H	L*	44	-10.177	0.000
	a*	44	35.111	0.000
	b*	44	16.082	0.000

4.9. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja

U tablicama 17. i 18. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$), standardne devijacije (SD) i značajnost razlike između $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na istoj JPEG fotografiji sa Samsung

pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja uz postupak kalibracije i bez njega. S obzirom da se na fotografijama izrađenima s frontalnim i lateralnim svjetlom nije mogao provesti postupak kalibracije, uspoređene su samo one s difuzorom, polarizacijskim i hibridnim filterom. Iz rezultata je vidljivo da je na fotografijama s difuzorom nekalibrirana L^* vrijednost značajno viša, a a^* i b^* značajno niže, dok su na ostalima sve vrijednosti osim L^* značajno niže, dok je nekalibrirana L^* vrijednost na fotografiji s hibridnim filterom granično niža ($p < 0.05$; Tablice 17. i 18.).

Tablica 17. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona u 3 različita osvjetljenja (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

			$\bar{x}$	SD
<i>D</i>	L^*	kalibrirana	72.50	6.50
		nekalibrirana	84.60	6.28
	a^*	kalibrirana	7.92	2.45
		nekalibrirana	0.61	1.13
	b^*	kalibrirana	14.92	5.10
		nekalibrirana	5.30	3.06
<i>P</i>	L^*	kalibrirana	67.37	11.77
		nekalibrirana	49.55	8.32
	a^*	kalibrirana	10.40	2.46
		nekalibrirana	0.57	1.86
	b^*	kalibrirana	17.00	4.38
		nekalibrirana	14.37	3.54
<i>H</i>	L^*	kalibrirana	72.43	5.27

a*	nekalibrirana	70.88	8.90
	kalibrirana	8.21	2.03
b*	nekalibrirana	-0.21	1.38
	kalibrirana	13.76	4.00
	nekalibrirana	9.07	3.66

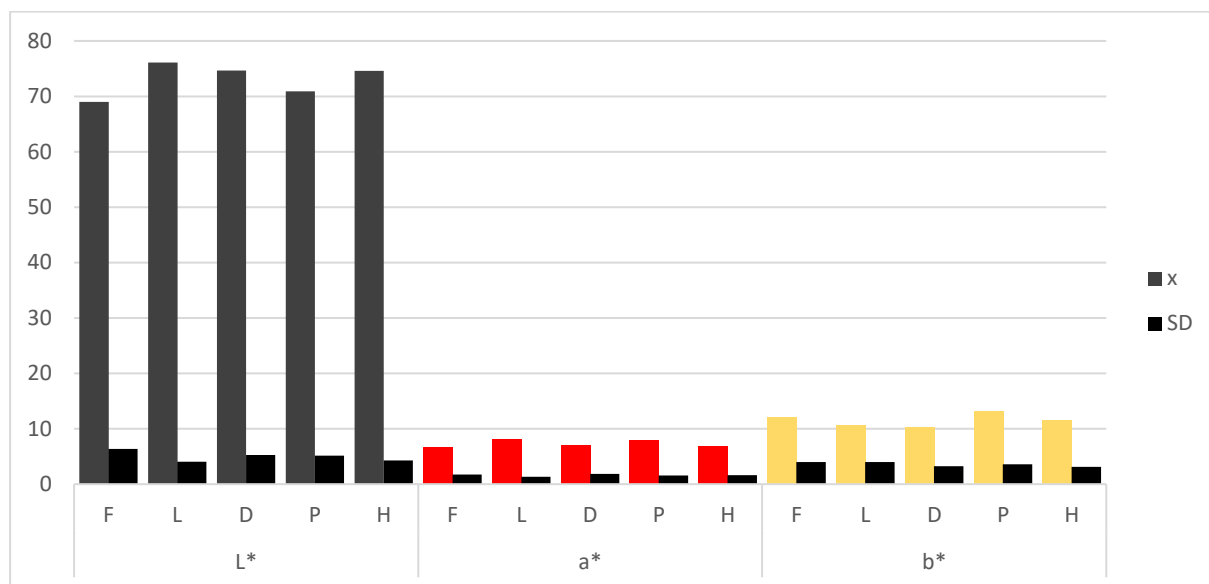
Tablica 18. Značajnost razlike (p) u kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama sa Samsung pametnog telefona ovisno o 3 različite vrste osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; t = t vrijednost) (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

		df	t	p
D	L^*	44	-16.175	0.000
	a^*	44	25.676	0.000
	b^*	44	13.244	0.000
P	L^*	44	10.618	0.000
	a^*	44	48.086	0.000
	b^*	44	6.523	0.000
H	L^*	44	1.385	0.173
	a^*	44	51.654	0.000
	b^*	44	15.495	0.000

4.10. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitim osvjetljenja

Na slici 27. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitim osvjetljenja. Rezultati pokazuju da u L^* i a^* vrijednostima nije bilo statistički značajne

razlike, dok je na fotografiji s polarizacijskim filterom b^* vrijednost bila značajno viša od ostalih ($p < 0.05$; Tablica 19.).



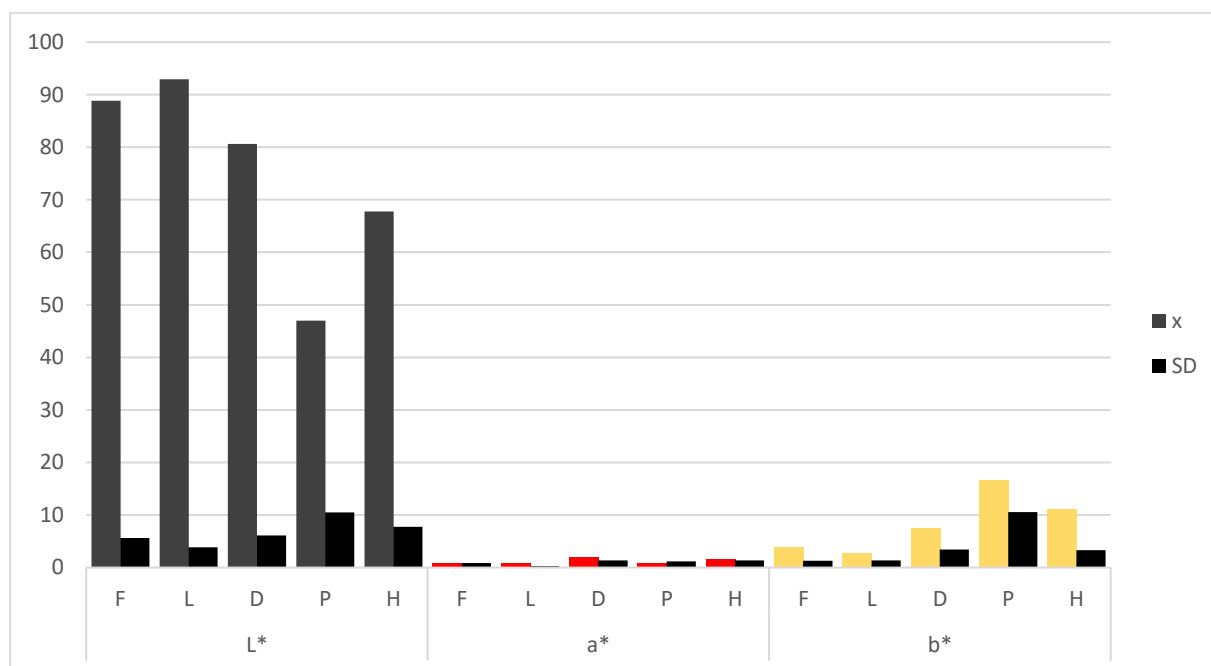
Slika 27. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama s Huawei mobilnog uređaja u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 19. Značajnost razlike (p) u kalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F =F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	0.505	0.732
a^*	4	0.925	0.450
b^*	4	4.533	0.002

Na slici 28. prikazane su srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja. Rezultati pokazuju da su L^* vrijednosti na RAW fotografijama s polarizacijskim filterom bile značajno najniže, a b^* vrijednosti na istim fotografijama značajno

najviše ($p < 0.05$; Tablica 20.). Značajno najvišu a^* vrijednost imala je RAW fotografija s difuzorima ($p < 0.05$; Tablica 20.).



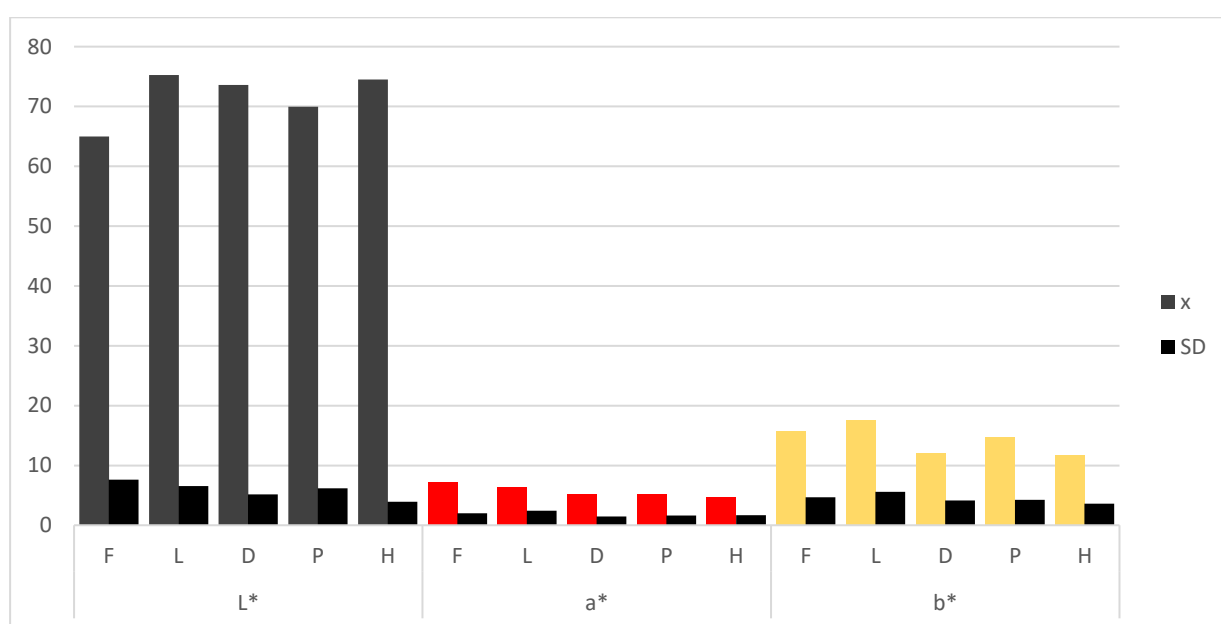
Slika 28. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 20. Značajnost razlike (p) u nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F =F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	305.322	0.000
a^*	4	11.851	0.000
b^*	4	22.737	0.000

4.11. Kalibrirane i nekalibrirane $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

Na slici 29. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja. Rezultati su pokazali da je L^* vrijednost na fotografijama s frontalnim svjetlom bila značajno niža od ostalih, a a^* vrijednost na istim fotografijama značajno viša od ostalih fotografija ($p < 0.05$; Tablica 21.). Istodobno je JPEG fotografija s lateralnim svjetlom imala značajno najviše b^* vrijednosti ($p < 0.05$; Tablica 21.).

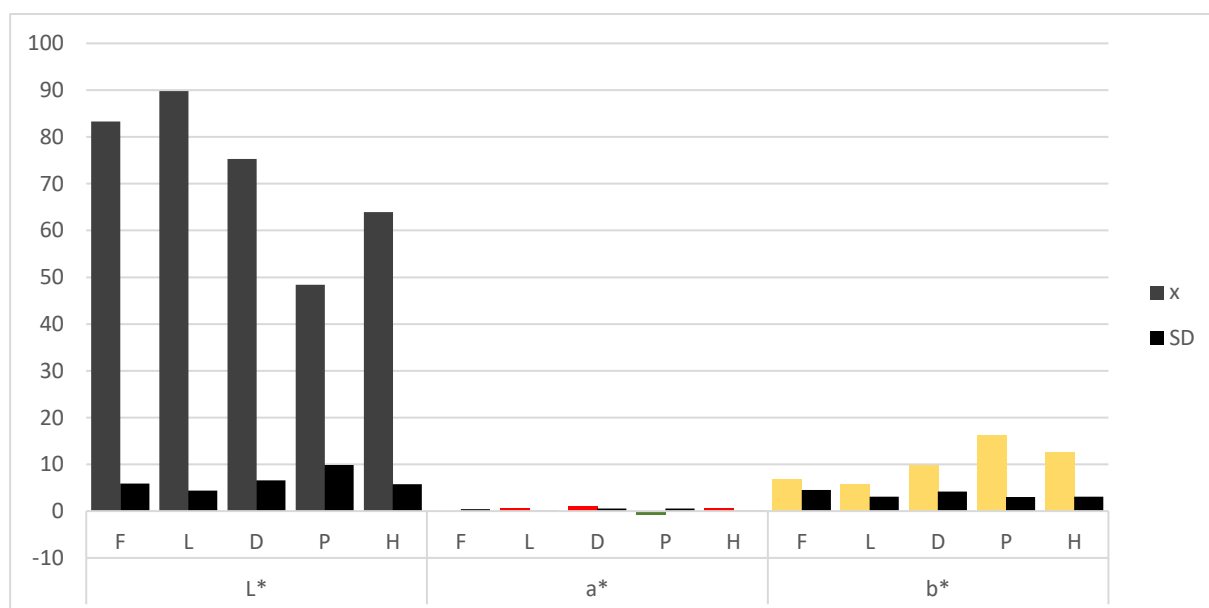


Slika 29. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 21. Značajnost razlike (p) u kalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df =stupnjevi slobode; F = F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	23.23	0.000
a^*	4	13.269	0.000
b^*	4	13.791	0.000

Na slici 30 prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja. Rezultati su pokazali da su L^* i b^* vrijednosti na fotografiji s polarizacijskim filterom značajno više, a a^* vrijednost značajno niža u usporedbi s ostalim izmjerenim vrijednostima na fotografijama s ostalim vrstama osvjetljenja ($p < 0.05$; Tablica 22.)



Slika 30. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

Tablica 22. Značajnost razlike (p) u nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjenjenima na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjetljenja (df=stupnjevi slobode; F=F vrijednost)

	df	F	p
L^*	4	267.318	0.000
a^*	4	13.585	0.000
b^*	4	62.32	0.000

4.12. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

U tablicama 23. i 24. prikazane su srednje vrijednosti (x), standardne devijacije (SD) i značajnost razlike između $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjenjenima na istoj RAW fotografiji s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja uz postupak kalibracije i bez njega. Rezultati su pokazali da su L^* vrijednosti na RAW nekalibriranim fotografijama s frontalnim lateralnim svjetlom i s difuzorima značajno više, a a^* i b^* vrijednosti značajno niže ($p < 0.05$; Tablice 23. i 24.). Kod RAW nekalibriranih fotografija s polarizacijskim filterom L^* i a^* vrijednosti bile su značajno niže, dok je b^* bio viši, ali ne značajno ($p > 0.05$; Tablice 23. i 24.). Kod RAW nekalibrirane fotografije s hibridnim filterom L^* vrijednost bila je značajno viša, a^* vrijednost značajno niža, a b^* vrijednost granično viša ($p > 0.05$; Tablice 23. i 24.).

Tablica 23. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

			$\bar{x}$	SD
<i>F</i>	L^*	kalibrirana	69,00	6,33
		nekalibrirana	88,83	5,62
	a^*	kalibrirana	6,62	1,75
		nekalibrirana	0,79	0,39
	b^*	kalibrirana	12,08	3,98
		nekalibrirana	3,95	3,31
<i>L</i>	L^*	kalibrirana	76,11	4,03
		nekalibrirana	92,95	3,84
	a^*	kalibrirana	8,08	1,35
		nekalibrirana	0,83	0,74
	b^*	kalibrirana	10,63	3,97
		nekalibrirana	2,76	2,34
<i>D</i>	L^*	kalibrirana	74,68	5,24
		nekalibrirana	80,64	6,08
	a^*	kalibrirana	6,96	1,85
		nekalibrirana	2,04	1,34
	b^*	kalibrirana	10,24	3,25
		nekalibrirana	7,44	3,46
<i>P</i>	L^*	kalibrirana	70,89	5,15

<i>H</i>	a*	nekalibrirana	47,00	10,52
		kalibrirana	7,87	1,59
		nekalibrirana	0,88	1,17
		kalibrirana	13,09	3,57
		nekalibrirana	16,60	16,58
		kalibrirana	74,59	4,26
	b*	nekalibrirana	67,79	7,76
		kalibrirana	6,86	1,65
		nekalibrirana	1,70	1,37
		kalibrirana	11,46	3,13
		nekalibrirana	11,12	3,36
		kalibrirana		

Tablica 24. Značajnost razlike (p) u kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na RAW fotografijama s Huawei pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjtljenja (df=stupnjevi slobode; t=t vrijednost) (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

		df	t	p
F	L^*	44	-19.362	0.000
	a^*	44	26.083	0.000
	b^*	44	20.246	0.000
L	L^*	44	-23.107	0.000
	a^*	44	3.601	0.001
	b^*	44	18.18	0.000
D	L^*	44	-8.374	0.000
	a^*	44	23.286	0.000
	b^*	44	8.401	0.000
P	L^*	44	15.714	0.000
	a^*	44	37.304	0.000
	b^*	44	-1.388	0.172
H	L^*	44	6.525	0.000
	a^*	44	24.629	0.000
	b^*	44	1.051	0.299

4.13. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja

U tablicama 25. i 26. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$), standardne devijacije (SD) i značajnost razlike između $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na istoj JPEG fotografiji s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja uz postupak kalibracije i bez njega. Rezultati su pokazali da su sve $L^*a^*b^*$ kalibrirane i nekalibrirane vrijednosti značajno različite ($p < 0.05$; Tablice 25. i 26.). Na JPEG fotografijama s frontalnim, lateralnim svjetlom i difuzorima L^* vrijednosti bile su značajno više, a a^* i b^* vrijednosti značajno niže ($p < 0.05$; Tablice 25. i 26.). Na JPEG fotografijama s polarizacijskim i hibridnim filterima L^* i a^* vrijednosti bile su značajno niže, a b^* vrijednosti značajno više ($p < 0.05$; Tablice 25. i 26.).

Tablica 25. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona u 5 različitih osvjetljenja (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

			$\bar{x}$	SD
F	L^*	kalibrirana	64.96	7.63
		nekalibrirana	83.30	5.86
	a^*	kalibrirana	7.16	2.01
		nekalibrirana	-0.16	0.99
	b^*	kalibrirana	15.78	4.67
		nekalibrirana	6.85	4.52
L	L^*	kalibrirana	75.28	6.54
		nekalibrirana	89.79	4.37
	a^*	kalibrirana	6.30	2.42
		nekalibrirana	0.50	1.02

<i>D</i>	<i>b</i> *	kalibrirana	17.53	5.60
		nekalibrirana	5.80	3.12
	<i>L</i> *	kalibrirana	73.59	5.14
		nekalibrirana	75.27	6.54
	<i>a</i> *	kalibrirana	5.26	1.47
		nekalibrirana	1.06	1.28
	<i>b</i> *	kalibrirana	11.98	4.12
		nekalibrirana	9.68	4.16
	<i>L</i> *	kalibrirana	69.41	6.15
		nekalibrirana	48.40	9.85
	<i>a</i> *	kalibrirana	5.12	1.61
		nekalibrirana	-0.72	1.58
<i>P</i>	<i>b</i> *	kalibrirana	14.66	4.24
		nekalibrirana	16.25	3.04
	<i>L</i> *	kalibrirana	74.50	3.94
		nekalibrirana	63.91	5.76
	<i>a</i> *	kalibrirana	4.65	1.66
		nekalibrirana	0.53	1.33
	<i>b</i> *	kalibrirana	11.71	3.63
		nekalibrirana	12.65	3.09
<i>H</i>	<i>b</i> *	kalibrirana	17.53	5.60
		nekalibrirana	5.80	3.12
	<i>L</i> *	kalibrirana	73.59	5.14
		nekalibrirana	75.27	6.54
	<i>a</i> *	kalibrirana	5.26	1.47
		nekalibrirana	1.06	1.28
	<i>b</i> *	kalibrirana	11.98	4.12
		nekalibrirana	9.68	4.16
	<i>L</i> *	kalibrirana	69.41	6.15
		nekalibrirana	48.40	9.85
	<i>a</i> *	kalibrirana	5.12	1.61
		nekalibrirana	-0.72	1.58

Tablica 26. Značajnost razlike (p) u kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima na JPEG fotografijama s Huawei pametnog telefona ovisno o 5 različitih vrsta osvjjetljenja (df =stupnjevi slobode; t = t vrijednost) (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

		df	t	p
F	L^*	44	-13.23	0.000
	a^*	44	30.3	0.000
	b^*	44	16.919	0.000
L	L^*	44	-17.282	0.000
	a^*	44	18.716	0.000
	b^*	44	18.784	0.000
D	L^*	44	-2.435	0.019
	a^*	44	25.592	0.000
	b^*	44	5.887	0.000
P	L^*	44	2.322	0.025
	a^*	44	35.057	0.000
	b^*	44	14.246	0.000
H	L^*	44	13.579	0.000
	a^*	44	21.11	0.000
	b^*	44	-3.823	0.000

4.14. Usporedba kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW i JPEG fotografijama u 3 različita osvjetljenja triju pametnih telefona

Na slici 31. prikazana je usporedba srednjih vrijednosti (x) i standardnih devijacija (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na RAW fotografijama u 3 različita osvjetljenja fotografiranim trima različitim pametnim telefonima. Uspoređena su samo tri osvjetljenja jer pri frontalnom i lateralnom osvjetljenju na RAW i JPEG fotografijama fotografiranim Samsung pametnim telefonom nije bilo moguće provesti kalibraciju. Rezultati pokazuju da su fotografije fotografirane iPhone pametnim telefonom pri sva tri osvjetljenja (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter) imale najniže L^* i a^* vrijednosti te najviše b^* vrijednosti (Slika 31.). Istodobno su fotografije snimljene Huawei pametnim telefonom pri istim trima osvjetljenjima imale najviše L^* i a^* vrijednosti te najniže b^* vrijednosti (Slika 31.). Ova razlika bila je statistički značajna ($F=29.780$; $p=0.000$).

Na slici 32. prikazana je usporedba srednjih vrijednosti (x) i standardnih devijacija (SD) izmjerenih kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama uz 3 različita osvjetljenja snimljenima trima različitim pametnim telefonima. Iz istog su razloga uspoređena samo tri osvjetljenja. Rezultati pokazuju da su fotografije snimljene iPhone pametnim telefonom pri sva tri osvjetljenja (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter) imale najniže L^* vrijednosti te najviše a^* i b^* vrijednosti (Slika 32.). Istodobno su fotografije snimljene Huawei pametnim telefonom pri ista tri osvjetljenja imale najviše L^* vrijednosti i najniže a^* i b^* vrijednosti (Slika 32.). Ova razlika bila je statistički značajna ($F=29.780$; $p=0.000$).

4.15. Usporedba nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW i JPEG fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja triju mobilnih uređaja

Na nekalibriranim RAW fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja triju pametnih telefona rezultati su nešto drugačiji. Fotografije s iPhone pametnog telefona u frontalnom i lateralnom osvjetljenju pokazale su najniže L^* i najviše a^* i b^* vrijednosti, fotografije s difuzorima najviše a^* i b^* vrijednosti, a fotografije s polarizacijskim i hibridnim filterom najviše L^* i najniže a^* vrijednosti. Na fotografijama snimanim Huawei pametnim telefonom pri osvjetljenju difuzorima, polaroidnim i hibridnim osvjetljenjem L^* vrijednosti su bile najniže, a pri hibridnom filteru b^* vrijednosti bile su najviše.

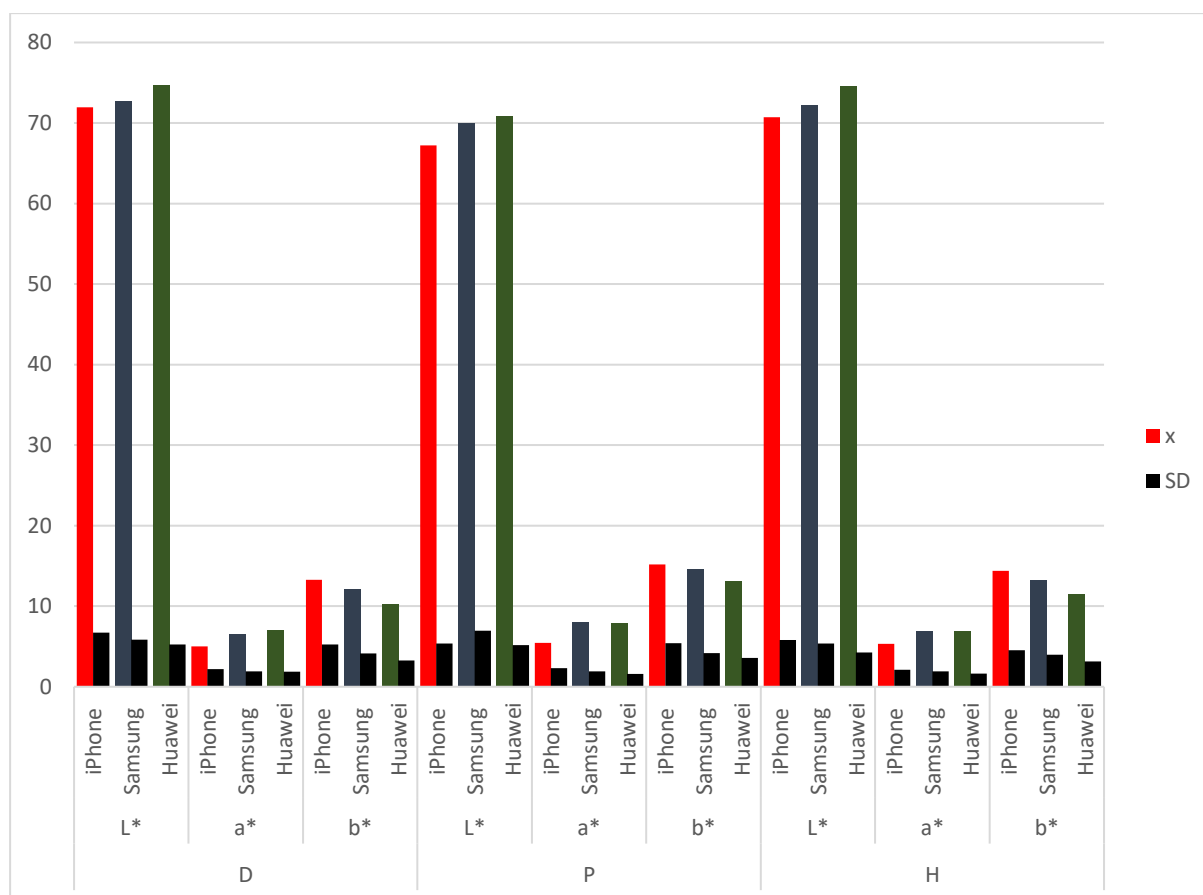
Na RAW nekalibriranim fotografijama snimljenima Samsung pametnim telefonom pri frontalnom, lateralnom osvjetljenju te korištenjem difuzora L^* vrijednosti bile su najviše, a^* i b^* vrijednosti najniže, pri polarizacijskom filteru a^* vrijednosti najniže i b^* vrijednosti najviše te pri hibridnom filteru a^* vrijednosti najviše (Slika 33.).

Sve nabrojene razlike bile su statistički značajne ($F=29.780$; $p=0.000$).

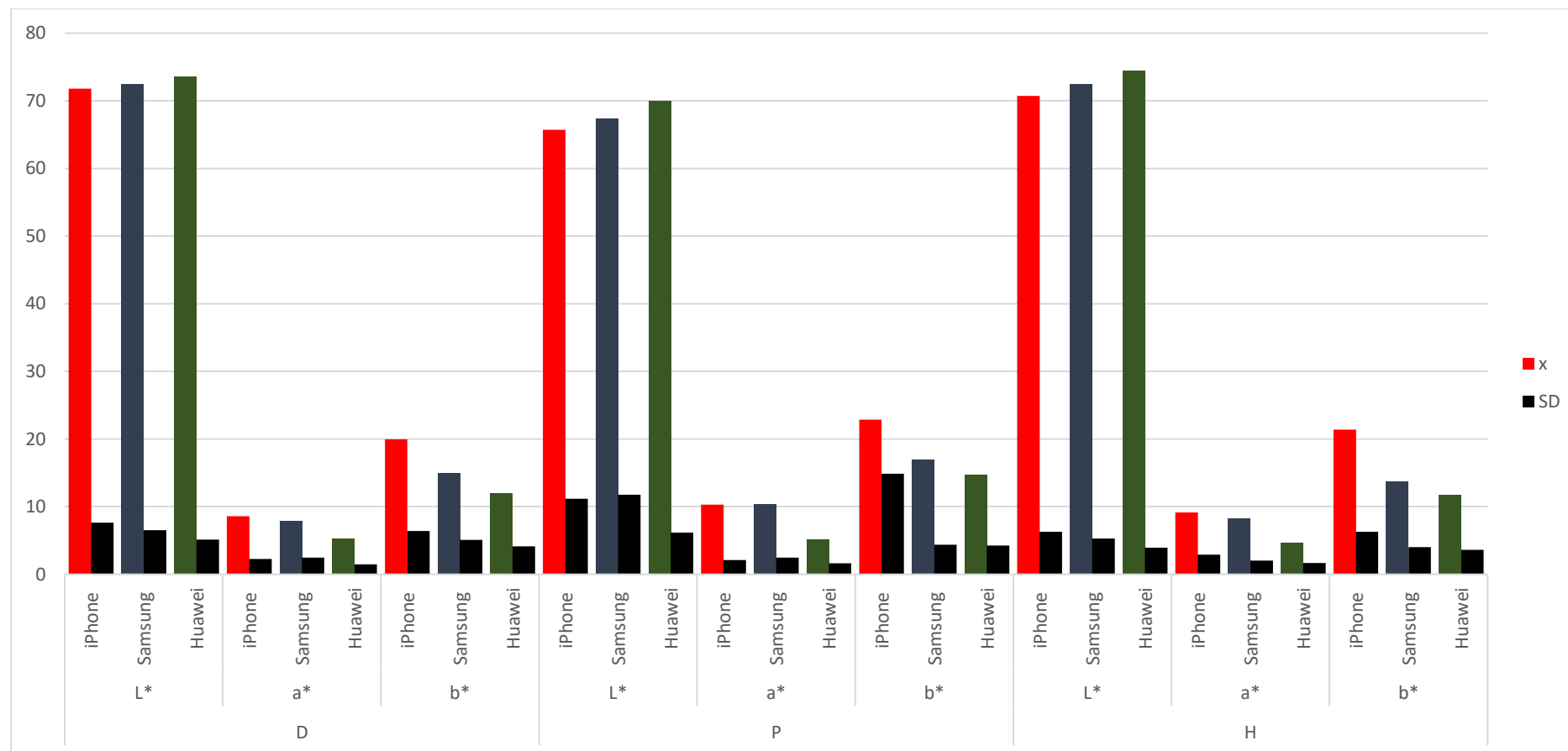
Na slici 34. prikazana je usporedba srednjih vrijednosti (x) i standardnih devijacija (SD) izmjerenih nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na JPEG fotografijama u 5 različitih osvjetljenja snimljenima trima različitim pametnim telefonima. Rezultati pokazuju da su fotografije snimljene iPhone pametnim telefonom u svim osvjetljenjima imale najniže L^* vrijednosti te najviše a^* i b^* vrijednosti. Istodobno su nekalibrirane JPEG fotografije snimane Samsung pametnim telefonom s frontalnim i lateralnim osvjetljenjem te difuzorima imale najviše L^* i najniže a^* i b^* vrijednosti, a korištenjem polarizacijskog i hibridnog filtera najniže a^* i b^* vrijednosti (Slika 34.).

Nekalibrirane JPEG fotografije snimane Huawei pametnim telefonom s polarizacijskim i hibridnim filterom imale su najniže L^* vrijednosti.

Sve nabrojene razlike bile su statistički značajne ($F=29.780$; $p=0.000$).

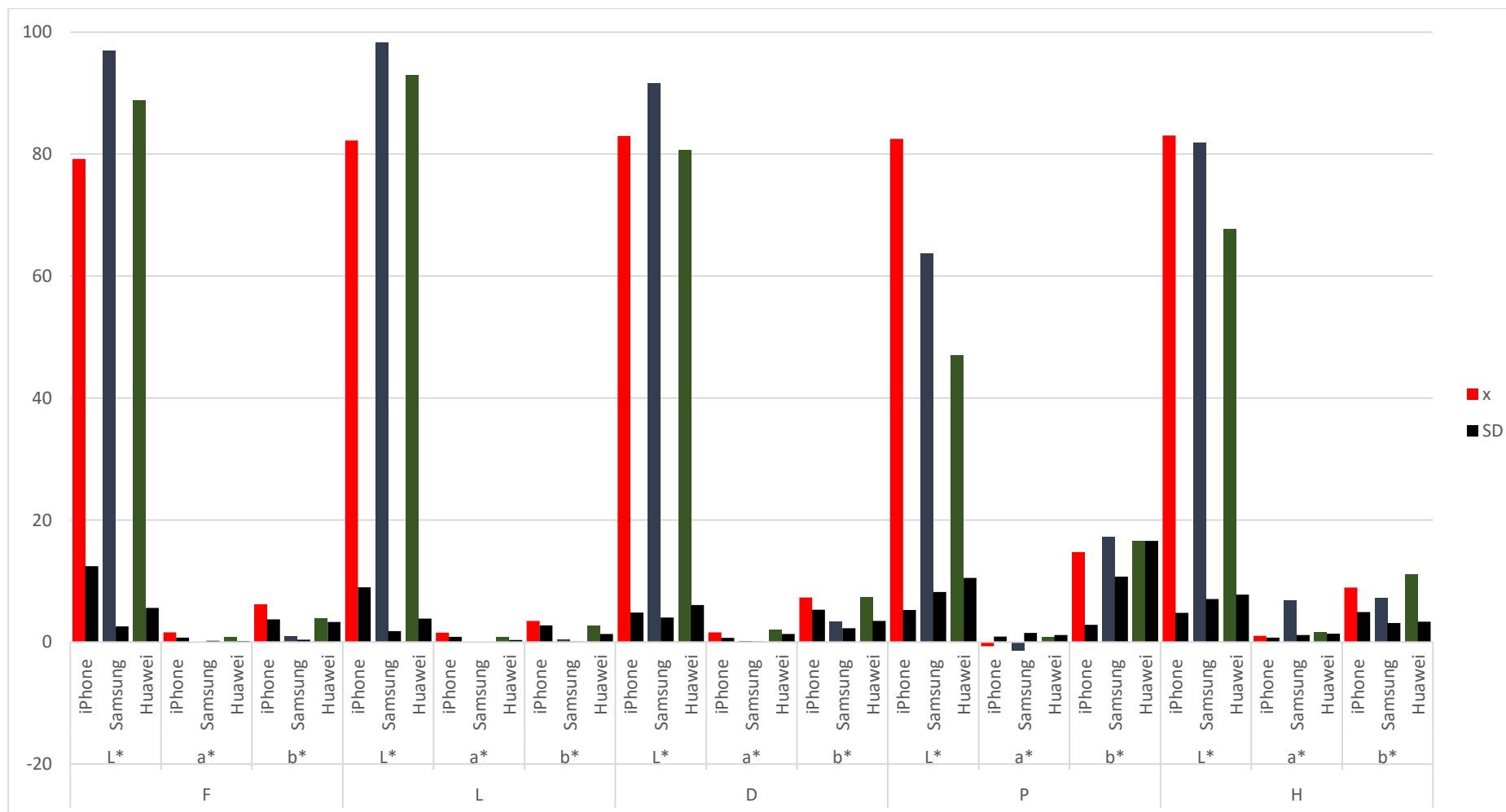


Slika 31. Usporedba srednjih vrijednosti (x) i standardnih devijacija (SD) izmjerenih kalibriranih L*a*b* vrijednosti na RAW fotografijama u 3 različita osvjetljenja triju pametnih telefona (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

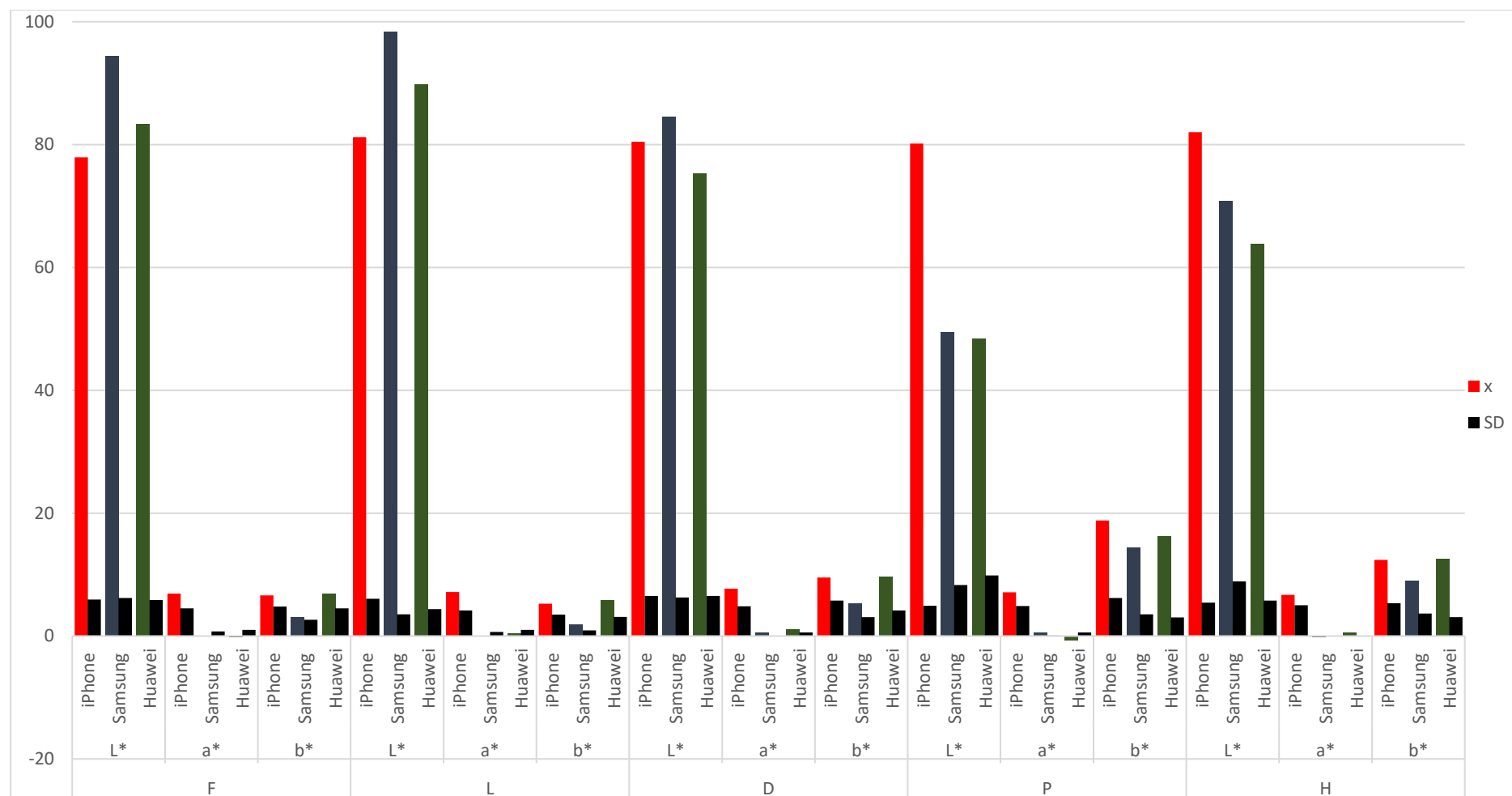


Slika 32. Usporedba srednjih vrijednosti (x) i standardnih devijacija (SD) izmjerenih kalibriranih L*a*b* vrijednosti na JPEG fotografijama u 3 različita osvjetljenja triju pametnih telefona (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

F=29.780; p=0.000



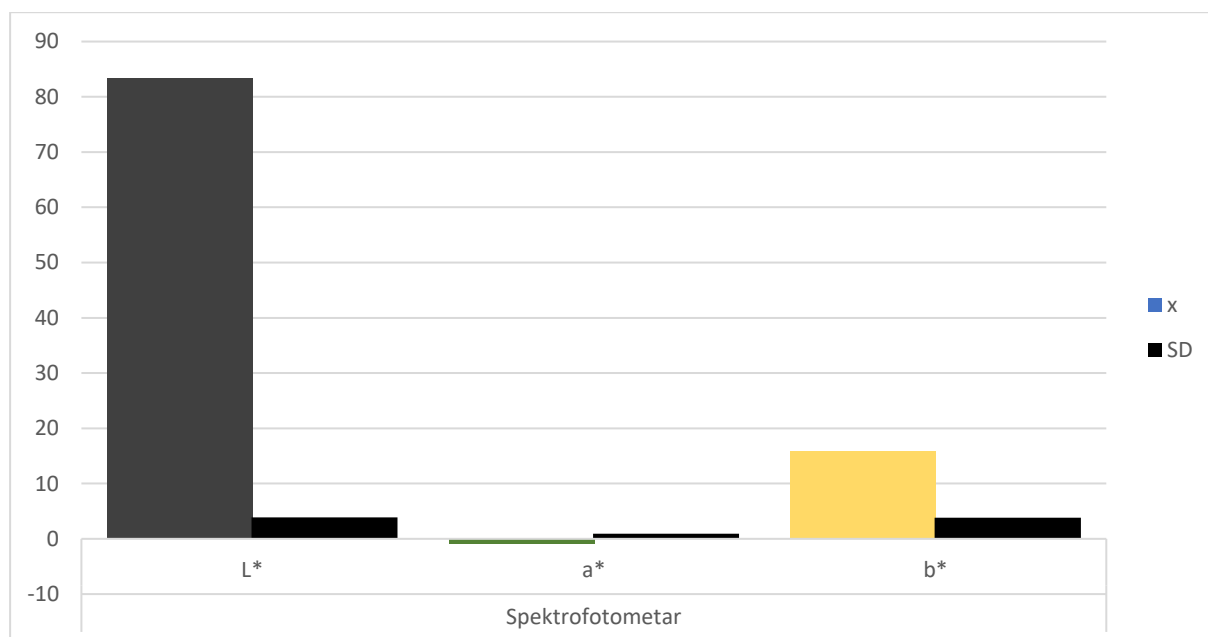
Slika 33. Usporedba srednjih vrijednosti (x) i standardnih devijacija (SD) izmjerenih nekalibriranih L*a*b* vrijednosti na RAW fotografijama u 5 različitih osvjetljenja triju pametnih telefona (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)



Slika 34. Usporedba srednjih vrijednosti (x) i standardnih devijacija (SD) izmjerenih nekalibriranih L*a*b* vrijednosti na JPEG fotografijama u 5 različitih osvjetljenja triju pametnih telefona (F-frontalno; L-lateralno; D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter)

4.16. Usporedba kalibriranih i nekalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih na RAW i JPEG fotografijama u 5 različitih osvjetljenja snimljenima svim trima mobilnim uređajima i spektrofotometrijski izmjerenih $L^*a^*b^*$ u ustima pacijenta

Na slici 35. prikazane su srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene spektrofotometrijski u ustima pacijenta na istom mjestu gdje su mjerene $L^*a^*b^*$ vrijednosti na fotografijama. Rezultati prikazuju relativno visoku svjetlinu izmjerenog područja ($L^*=83.3$), zatim relativno zelenkastu boju zuba ($a^*=-0.8$) i žutinu ($b^*=15.8$).



Slika 35. Srednje vrijednosti ($\bar{x}$) i standardne devijacije (SD) $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene spektrofotometrijski u ustima pacijenta

Spektrofotometrijski izmjerene $L^*a^*b^*$ vrijednosti uspoređene su sa svim izmjerenim kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima na RAW i JPEG fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja snimljenima trima različitim mobilnim uređajima. U tablicama 27.-30. označene su one $L^*a^*b^*$ vrijednosti koje su se poklapale i u spektrofotometrijskom i digitalnom mjerenju ($p>0.05$).

Rezultati pokazuju da su se mjerenja na fotografijama snimljenima iPhone pametnim telefonom najčešće poklapala s istim spektrofotometrijskim mjerenjima (Tablice 27.-30.). Na RAW kalibriranim fotografijama u svim osvjetljenjima poklapale su se b^* vrijednosti, a pri

polarizacijskom osvjetljenju i L^* vrijednost ($p > 0.05$; Tablica 27.). Na RAW nekalibriranim fotografijama snimljenima istim pametnim telefonom poklapale su se L^* vrijednosti u svim osvjetljenjima osim frontalnog, dok su se L^*a^* i b^* vrijednosti poklapale na fotografijama s polarizacijskim filterom ($p > 0.05$; Tablica 28.). Na JPEG kalibriranim fotografijama snimljenima iPhone pametnim telefonom poklapala se samo L^* vrijednost na fotografijama s frontalnim svjetlom, a na JPEG nekalibriranim fotografijama L^* vrijednost na onima s lateralnim svjetlom i hibridnim filterom ($p > 0.05$; Tablice 29. i 30.). Ujedno su RAW nekalibrirane fotografije s polarizacijskim filterom snimljene iPhone pametnim telefonom bile jedine u ovom istraživanju kojima su se $L^*a^*b^*$ vrijednosti poklapale s istima izmjerenima spektrofotometrom.

Rezultati su također pokazali da je najmanje poklapanja spektrofotometrijskih i digitalnih mjerenja na fotografijama pronađeno na fotografijama snimljenima Samsung pametnim telefonom. Na RAW kalibriranim fotografijama uz 3 različita osvjetljenja snimljenima Samsung pametnim telefonom nije bilo nikakvih poklapanja sa spektrofotometrijskim mjerenjima ($p < 0.05$; Tablica 27). Na RAW nekalibriranim fotografijama s polaroidnim filterom poklapale su se b^* vrijednosti, a na onima s hibridnim filterom L^* i a^* vrijednosti ($p < 0.05$; Tablica 28.). Na JPEG kalibriranim fotografijama uz 3 različita osvjetljenja snimljenima Samsung pametnim telefonom poklapale su se vrijednosti b^* uz uporabu difuzora, a na JPEG nekalibriranim fotografijama L^* vrijednosti pri osvjetljenju s difuzorima ($p > 0.05$; Tablice 29. i 30.).

Na RAW kalibriranim fotografijama snimljenima Huawei pametnim telefonom nije bilo poklapanje $L^*a^*b^*$ vrijednostima s onima izmjerenim spektrofotometra ni pri jednom osvjetljenju ($p > 0.05$; Tablica 27.). Na RAW kalibriranim fotografijama poklapanje je pronađeno za b^* vrijednost pri korištenju polarizacijskog filtera ($p > 0.05$; Tablica 28.).

Na JPEG kalibriranim fotografijama snimljenima Huawei pametnim telefonom poklapale su se b^* vrijednosti na fotografijama s frontalnim svjetlom te L^* i b^* vrijednosti na onima snimljenima s polarizacijskim svjetlom ($p > 0.05$; Tablica 29.). Na JPEG nekalibriranim fotografijama L^* vrijednosti su se poklapale na fotografijama s frontalnim svjetlom te a^* i b^* vrijednosti na onima s polarizacijskim filterom ($p > 0.05$; Tablica 30.).

Tablica 27. Poklapanje $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih spektrofotometrom i pametnim telefonima na RAW kalibriranim fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja

		<i>iPhone</i>	<i>Samsung</i>	<i>Huawei</i>
<i>F</i>	L^*			
	a^*			
	b^*	+		
<i>L</i>	L^*			
	a^*			
	b^*	+		
<i>D</i>	L^*			
	a^*			
	b^*			
<i>P</i>	L^*	+		
	a^*			
	b^*	+		
<i>H</i>	L^*			
	a^*			
	b^*	+		

Tablica 28. Podudaranje $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih spektrofotometrom i pametnim telefonima na RAW nekalibriranim fotografijama u 5 različitih osvjetljenja

		<i>iPhone</i>	<i>Samsung</i>	<i>Huawei</i>
<i>F</i>	L^*			
	a^*			
	b^*			
<i>L</i>	L^*	+		
	a^*			
	b^*			
<i>D</i>	L^*	+		
	a^*			
	b^*			
<i>P</i>	L^*	+		
	a^*	+	+	
	b^*	+		+
<i>H</i>	L^*	+	+	
	a^*		+	
	b^*			

Tablica 29. Podudaranje $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih spektrofotometrom i pametnim telefonima na JPEG kalibriranim fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja

		<i>iPhone</i>	<i>Samsung</i>	<i>Huawei</i>
<i>F</i>	L^*	+		
	a^*			
	b^*	+		
<i>L</i>	L^*			
	a^*			
	b^*			
<i>D</i>	L^*			
	a^*			
	b^*	+		
<i>P</i>	L^*	+		
	a^*			
	b^*	+		
<i>H</i>	L^*			
	a^*			
	b^*			

Tablica 30. Podudaranje $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih spektrofotometrom i pametnim telefonima na JPEG nekalibriranim fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja

		<i>iPhone</i>	<i>Samsung</i>	<i>Huawei</i>
<i>F</i>	L^*			+
	a^*			
	b^*			
<i>L</i>	L^*	+		
	a^*			
	b^*			
<i>D</i>	L^*		+	
	a^*			
	b^*			
<i>P</i>	L^*			
	a^*			+
	b^*			+
<i>H</i>	L^*	+		
	a^*			
	b^*			

5. RASPRAVA

Boja zuba jedan je od najvažnijih estetskih parametara za završni uspjeh protetske ili restaurativne terapije. Sam postupak određivanja boje zuba često nije jednostavan zadatak, čak ni za iskusne kliničare. Dugi su se niz godina za određivanje boje zuba koristili različiti alati i metode (16). Istraživanja su pokazala njihovu različitu točnost i ponovljivost (24,25,26). Posljednjih se godina, razvojem tehnologije i prelaskom na *digital work flow*, sve češće za određivanje boje zuba koriste digitalne metode koje su se pokazale točnijima i pouzdanijima od klasičnih (145,146,147), no unatoč tome i one imaju određene nedostatke.

Spektrofotometar se pokazao kao uređaj koji daje najtočnije, najpouzdanije i ponovljive rezultate pa se u brojnim istraživanjima koristi kao kontrolno mjerenje za utvrđivanje i uspoređivanje točnosti drugih metoda (176,180,182,183). Zbog toga se u ovom istraživanju spektrofotometar koristio kao kontrolno mjerenje. U ovom istraživanju korišten je Vita Easy Shade V spektrofotometar pete generacije, koji je u prethodnim istraživanjima dao najbolje rezultate (184,185). Mana mu je visoka cijena i vrlo usko područje mjerenja. Zbog različite boje zuba, ovisno o dijelu njegove krune (102,103) spektrofotometrom bi se trebala obaviti barem tri mjerenja na tri različita dijela krune zuba, gingivalnoj, središnjoj i incizalnoj trećini, da bismo dobili dovoljno podataka o samoj boji jednog zuba. Stoga smo u ovom istraživanju htjeli utvrditi može li digitalna fotografija dobivena pametnim telefonima zaobići taj nedostatak, s obzirom da je na fotografiji vidljiva cijela kruna zuba.

Kao jedna od novijih digitalnih metoda određivanja boje zuba počela se koristiti digitalna fotografija (61,62,63,151,152). Prednost je digitalne fotografije u odnosu prema drugim digitalnim metodama lakši i brži prijenos podataka u dentalni laboratorij (63). Prednost je što pomoću jedne fotografije tehničar dobiva mnogo više podataka o samoj boji zuba s obzirom da je vidljiva cijela njegova kruna, kao i susjedni zubi. Pretraživanjem baze podataka i dostupne literature utvrđeno je da su u istraživanjima kao metoda određivanja boje zuba koriste uglavnom digitalne fotografije dobivene DSLR fotoaparatom (61,62,63,151,152,153,154) koji imaju određene mane. Najveći je nedostatak, kao i kod digitalnog spektrofotometra, cijena same aparature. Osim nje, nedostaci su veličina i težina same opreme, koja je potrebna za fotografiranje s obzirom da sam fotoaparat nije dovoljan da bismo dobili dovoljno dobru kvalitetu slike te su potrebni određeno znanje i vještina u rukovanju takvim uređajem. Stoga smo u ovom istraživanju odlučili ispitati točnost digitalne fotografije dobivene pametnim telefonima kao novije digitalne metode za određivanje boje zuba s obzirom na nedostatak

istraživanja u tom području i usporediti je s spektrofotometrom. Prednost je pametnih telefona u cijeni samih uređaja, njihovoj veličini, dostupnosti te lakoći korištenja i prenošenja podataka.

Nedavno se na tržištu pojavio Smile Lite MDP uređaj, kao pomoćni uređaj za fotografiranje pametnim telefonima (80,81,82). Njegove su prednosti, s obzirom na dodatnu aparaturu koja je potrebna za DSLR fotoaparate, cijena, koja je puno prihvatljivija, veličina i praktičnost (80,81). U ovom istraživanju korišten je Smile Lite MDP kao pomoćni uređaj za fotografiranje pametnim telefonom jer omogućuje fotografiranje pod različitim osvjetljenjima. Pretraživanjem nama dostupne literature nema provedenih istraživanja metode određivanja boje zuba na temelju digitalnih fotografija snimljenih Smile Lite MDP uređajem i pametnim telefonom. Vjerojatno je razlog što je riječ o novijem uređaju koji se nedavno pojavio na tržištu (80,81). U ovom istraživanju htjeli smo utvrditi može li se koristiti kao pomoćni osvjetljivač prilikom fotografiranja pametnim telefonima za određivanje boje zuba, tj. može li pridonijeti kvaliteti fotografije za određivanje boje zuba. Naime, Smile Lite MDP u svome setu sadrži polarizacijski filter. Polarizacijski filter se u drugim istraživanjima pokazao kao koristan za korištenje prilikom fotografiranja jer smanjuje odsjaj i daje vjerniji prikaz boje (61,62,187,188,189,190,191). To je osobito važno pri fotografiranju zuba s obzirom da caklina zbog svoje specifične građe i visokog udjela anorganskog dijela prilikom fotografiranja daje vidljiv odsjaj na fotografiji (100,101,102).

Također, prema nama dostupnoj literaturi, nema istraživanja koja pokazuju uz koje se osvjetljenje pri korištenju Smile Lite MDP uređaja dobiva najtočniji prikaz svih triju parametara boje zuba na fotografijama dobivenima pametnim telefonom, što smo odlučili ispitati u ovom istraživanju.

Prilikom odabira uzorka odlučili smo se za mlađu populaciju sa zdravim trajnim zubima, s obzirom da je svrha istraživanja bila utvrditi i usporediti boju zuba drugom digitalnom metodom, a ne boju restaurativnih ili protetskih radova. Budući da je u pravilu veća vjerojatnost da mlađa populacija ima zdrave trajne zube bez patoloških procesa (karijesa, endodontskih liječenja, parodontalnih oboljenja, restaurativnih i protetskih nadomjestaka), takav je odabir uzorka bio logičan.

Za mjerno smo područje u svih ispitanika odabrali središnju trećinu krune gornjeg desnog središnjeg sjekutića zbog lakšeg mjerenja spektrofotometrom te lakšeg fotografiranja ispitanika

(13,187). Naime, gornji središnji sjekutići prema svojoj morfologiji imaju obično najravniju labijalnu plohu. Također, najvidljiviji su od svih prednjih zubi u čeljusti te je pri fotografiranju bilo najjednostavnije i najpouzdanije pozicionirati uređaj za fotografiranje kako bi zrake svjetlosti padale što okomitije na samu plohu zuba, što je u skladu s prethodnim istraživanjima (13,186). Cervikalni i aproksimalni dijelovi krune zuba pod utjecajem su blizine gingive i drugačijeg loma svjetlosti na rubovima ploha zuba stoga ne mogu dati prave $L^*a^*b^*$ vrijednosti boje zuba (187). Pri fotografiranju bočnih sjekutića ili očnjaka morali bismo mijenjati kut snimanja, a to prema našem mišljenju smanjuje mogućnost ponavljanja same metode. U ovom istraživanju nije bila svrha ispitivati postoji li razlika u boji između pojedine skupine zuba s obzirom da je navedeno već dobro poznato i opisano u literaturi (16), već može li se digitalna fotografija snimljena pametnim telefonom koristiti kao metoda za odabir boje zuba, pri kojem osvjetljenju i u kojem formatu fotografije.

Zbog veličine od 0,5x0,5 mm mjernog nastavka Vita Easy Shade V spektrofotometra nije dovoljno jedno mjerenje kako bismo dobili dovoljno informacija o boji krune zuba jer se ona razlikuje ovisno o području krune koje se mjeri zbog same polikromatičnosti zuba, što su prethodna istraživanja već dokazala (102,103). Stoga smo, da bi metoda mjerenja u ovom istraživanju bila što točnija i ponovljivija, mjerno područje središnje trećine krune zuba označili pomoću žiga voodootpornim markerom koji je imao oblik kruga kao i mjerni nastavak spektrofotometra. Veličina samog žiga nešto je veća od mjernog nastavka Vita Easy Shade V spektrofotometra. Spektrofotometar je pri mjerenju pozicioniran unutar toga kruga, a mjerno je mjesto njegov središnji dio.

Pri fotografiranju je mjesto fokusa na fotografiji bilo mjesto označeno voodootpornim markerom, a mjesto mjerenja u kompjuterskom programu također središnji dio kruga, kako bi se mjerno mjesto spektrofotometrom i mjerno mjesto na fotografiji poklapali.

Pri fotografiranju je svim ispitanicima neposredno ispod krune zuba gornjeg središnjeg sjekutića postavljena siva kartica. Ona je odabrana u drugim istraživanjima zbog svoje ravnomjerne refleksije i definiranih parametara boje (62,188). Proizvođač tvrdi da su vrijednosti boje sive kartice $L=75$, $a=0$ i $b=0$, s mogućim odstupanjima od $\pm 0,5$ (188). Siva kartica služi za kalibraciju prilikom mjerenja boja u kompjuterskom programu. Budući da su se prethodnim istraživanjima obavljala mjerenja na digitalnim fotografijama dobivenima DSLR kamerom, u ovom se istraživanju željelo utvrditi je li potrebna kalibracija boje s obzirom da su

fotografije dobivene u ovom istraživanju snimane pametnim telefonima, koji imaju drugačije senzore i procesore u samom uređaju, te drugačije obrađuju fotografiju nego DSLR kamere.

Starije generacije pametnih telefona na svojim kamerama nisu imale različite opcije postavki snimanja kao DSLR kamere. Novije generacije pametnih telefona razvojem tehnologije uspjele su doskočiti tome problemu, tako da pametni telefoni koji su korišteni u ovom istraživanju imaju mogućnost postavljanja različitih postavki prilikom snimanja kao DSLR kamere. Najbitnije su postavke: balans bijele boje ili whight balance (WB), osjetljivost senzora na svjetlo ili ISO, brzina zatvarača blende ili shutter speed (SS) i veličina otvora blende ili apertura (f) (61,62,63,188,191,192).

U ovome su istraživanju navedene postavke kamere namještene što sličnije postavkama istraživanja rađenima na DSLR kamerama. Tako su, prema uputama iz prethodnih istraživanja, postavke kamere postavljene na vrijednosti $ISO = 100$, $SS = 1/125$, $WB=5500\text{ K}$ i $f=1,5-2,0$ (61,62,63,188).

Prema radu profesora Louisa Hardana, najbitnija je postavka pri snimanju WB i potrebno ju je postaviti na 5500K koliko iznosi temperatura dnevnog svjetla (81,82). U kliničkim je uvjetima prilikom fotografiranja navedeni uvjet teško postići s obzirom da snimamo usta koja su poput mračne komore, samo s jednim otvorom. Stoga se prilikom fotografiranja moramo osloniti na dodatne izvore svjetla poput flasha. Hardan navodi u svome radu da Smile Lite MDP uređaj emitira istu temperaturu prirodnog dnevnog svjetla (81,82).

Razlika je između Smile Lite MDP uređaja i DSLR kamere u kontinuitetu navedenog svjetla. Prilikom korištenja DSLR kamere rezultat osvjetljenja dobivenih flashom na kameri može biti vidljiv samo neposredno nakon što je fotografija snimljena pa se u slučaju nezadovoljavajućeg rezultata postupak fotografiranja objekta, u našem slučaju zuba, mora ponoviti, što dovodi do gubitka vremena. Pri snimanju Smile Lite MDP uređajem, budući da je izvor svjetla kontinuiran, rezultat može biti vidljiv na ekranu pametnog telefona prije nego što je fotografija snimljena (81).

U ovome je istraživanju udaljenost između objekta snimanja i same leće iznosila 15-20 cm, što je preporuka samog proizvođača Smile Lite MDP uređaja (81,82). U istraživanjima u kojima je snimano DSLR kamerama bile su približno iste ili slične udaljenosti (81,82).

Budući da su u ovom istraživanju korištena tri različita pametna telefona, nakon svakog seta fotografija bilo je potrebno promijeniti pametni telefon. Svaki pametni telefon korišten u ovom istraživanju ima drugačije pozicioniranu kameru. Zbog toga je nakon svake zamjene pametnog telefona bilo potrebno prilagoditi držač na Smile Lite MDP uređaju tako da se kamera pametnog

telefona nalazi u sredini okvira. Sam postupak fotografiranja i zamjene pametnog mobitela te adaptacije držača zahtijevao je određeno vrijeme. Zbog toga je između svakog seta fotografija svakom ispitaniku izvađen retraktor iz usta kako bi se spriječila dehidracija zuba. Burki i sur. su u svome istraživanju dokazali da dehidracija zuba, koja postaje klinički značajna i utječe na promjenu boje zuba, nastupa već nakon 10 minuta (186).

Sve dobivene fotografije u ovom istraživanju naknadno su prebačene i mjerenja su obavljena u kompjuterskom programu Adobe Photoshop Lightroom 6 kao i u istraživanjima koja su ispitivala boju zuba na fotografijama dobivenima DSLR kamerom (61,62,189).

Fotografije dobivene u ovom istraživanju snimljene su u dva formata RAW i JPEG. Pretraživanjem literature istraživanja koriste dva formata fotografije za istraživanje: RAW i JPEG. Neka istraživanja koriste RAW format fotografije za analizu (61,62,187,189), dok druga koriste JPEG format (13,193). Budući da nismo našli istraživanje koje uspoređuje dva formata fotografije za određivanje boje zuba, u ovom smo istraživanju željeli utvrditi postoji li razlika u boji između dva formata te koji je pogodniji za dobivanje točnije boje zuba, stoga su snimana oba formata.

Razlika je između dva formata u tome što je JPEG format procesuiran i komprimiran, time zauzima manje memorije, tj. sama datoteka je manje veličine. RAW format je originalan minimalno procesuiran, zauzima veću memoriju na kartici pametnog telefona te je sama datoteka znatno veća (194).

Prema rezultatima ovog istraživanja, prva hipoteza je odbijena jer su različita osvjetljenja dala na fotografijama različite $L^*a^*b^*$ vrijednosti i to na svim pametnim telefonima korištenima u ovom istraživanju.

Rezultati kalibriranih RAW fotografija dobivenih iPhone 11 Pro pametnim telefonom pokazali su statistički značajnu razliku u L^* vrijednostima između fotografija snimljenih lateralnim osvjetljenjem (L) i onih na kojima je korišten polarizacijski filter (P) ($p < 0.05$; Tablica 3) (Slika 19.). Polarizacijski filter uklanja odsjaj cakline zuba, što je mogući razlog zašto fotografije s polarizacijskim filterom daju najniže L^* vrijednosti, dok fotografije s lateralnim svjetlom imaju znatno jače osvjetljenje pa je odsjaj od cakline znatno veći, čime su L^* vrijednosti više. Statistički značajne razlike u vrijednostima a^* i b^* u ovom formatu između fotografija s različitim osvjetljenjem nije bilo ($p > 0.05$; Tablica 3). Što bi značilo da kalibrirana RAW fotografija snimljena iPhone 11 Pro pametnim telefonom lateralnim svjetlom (L) daje

najsvjetliju fotografiju, a ista fotografija snimljena polarizacijskim filterom daje najtamniju fotografiju, dok razlike u tonovima crvene i žute boje nema.

Rezultati nekalibriranih RAW fotografija dobivenih iPhone 11 Pro pametnim telefonom pokazala su statistički značajnu razliku u vrijednostima a^* i b^* pri različitim osvjetljenjima ($p < 0.05$; Tablica 3.). Tako su vrijednosti a^* najniže na fotografiji s polarizacijskim filterom, dok su vrijednosti b^* bile najviše i najviše se razlikuju u odnosu prema fotografijama s lateralnim osvjetljenjem (L), što se ponovno može objasniti time da je pri lateralnom osvjetljenju izvor svjetlosti najjači pa time utječe na vrijednosti a^* i b^* . Najniže su L^* vrijednosti zabilježene pri fotografiranju frontalnim svjetlom (F), a najviše pri korištenju hibridnog filtera (H), ali razlika nije dosegla razinu značajnosti ($p > 0.05$; Tablica 4). Sve su vrijednosti a^* RAW iPhone fotografija s iznimkom polarizacijskog filtera (P) bile gotovo podjednake i iznosile prosječno 1.4, dok su one s polarizacijskim filterom bile najniže, jedine negativnog predznaka i iznosile prosječno -0.68 (Slika 20.). Možemo zaključiti da fotografije s polarizacijskim filterom (P) daju najzeleniju boju zuba.

Pri kalibraciji fotografija u kompjuterskom programu može se primijetiti da se mijenja svjetlina fotografija, što je mogući razlog zašto nastaje razlika u L^* vrijednostima među fotografijama s različitim osvjetljenjem kod onih kod kojih je postupak kalibracije proveden i onih koje nisu kalibrirane gdje razlike u L^* vrijednostima ovisno o osvjetljenju nema.

Rezultati kalibriranih JPEG fotografija pokazali su statistički značajnu razliku u L^* i a^* vrijednostima između fotografija snimljenih polarizacijskim filterom (P) i fotografija snimljenih uz lateralno osvjetljenje (L) ($p < 0.05$; Tablica 5.) (Slika 21.). Razlog može biti taj što je prilikom lateralnog osvjetljenja izvor svjetla najjači pa daje i najviše L^* vrijednosti dok je na fotografijama s polarizacijskim filterom ono najslabije pa su L^* vrijednosti najniže. Iz istog je razloga moguća razlika u a^* vrijednostima. Na fotografijama snimljenima uz polarizacijski filter je najviša, a na fotografijama s lateralnim osvjetljenjem najniža. Izmjerene b^* vrijednosti nisu se statistički razlikovale ($p > 0.05$; Tablica 5.). Iz navedenih rezultata možemo zaključiti da su kalibrirane JPEG fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom s lateralnim (L) svjetlom najsvjetlije s najmanje crvenih tonova u boji zuba, dok su fotografije snimljene uz polarizacijski filter (P) najtamnije i s više crvenih tonova, dok razlike u žutim tonovima boje zuba nije bilo.

Nekalibrirane JPEG fotografije pokazale su statistički značajnu razliku u L^* vrijednostima među fotografijama s frontalnim osvjetljenjem, gdje su one bile najniže, i onih s hibridnim, gdje su bile najviše, te statistički značajnu razliku u b^* vrijednostima među fotografijama

dobivenima lateralnim osvjetljenjem i onih s polarizacijskim filterom, gdje su te vrijednosti bile najviše ($p < 0.05$; Tablica 6.) (Slika 22.). Ovi su rezultati nešto drugačiji ako se uspoređuju s rezultatima dobivenima u prethodne tri skupine gdje je statistički značajna razlika uglavnom između fotografija s lateralnim osvjetljenjem i onih s polarizacijskim filterom. Razlog tome može biti što je nekalibrirane JPEG fotografije komprimirao i procesuirao sam uređaj, što može dovesti do promjena $L^*a^*b^*$ vrijednosti izazvanih samim procesorom. Iz navedenih rezultata možemo zaključiti da su nekalibrirane JPEG fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom s frontalnim (F) svjetlom dale najtamniju fotografiju boje zuba, a one s hibridnim filterom (H) najsvjetliju, dok su fotografije s polarizacijskim filterom imaju najviše žutog tona, a s lateralnim svjetlom najsvjetlije.

Rezultati kalibriranih RAW fotografija dobivenih Samsung S9+ pametnim telefonom pokazali su da se a^* i b^* vrijednosti na fotografijama s polarizacijskim filterom (P) statistički značajno razlikuju od onih na fotografiji s hibridnim filterom (H) i fotografiji snimljenoj difuzorima ($p < 0.05$; Tablica 11.). Vrijednosti a^* i b^* na fotografijama s polarizacijskim filterom bile su najveće (Slika 23.). Usporedba s fotografijama s frontalnim (F) i lateralnim (L) osvjetljenjem nije bila moguća budući da ih nije bilo moguće kalibrirati. Pri fotografiranju se ISO vrijednost od 100 na Samsung S9+ pametnom telefonu pokazala previsokom. Te su fotografije bile presvijetle pa tako i siva kartica, koja se kao rezultat toga nije mogla kalibrirati u kompjuterskom programu. Za Samsung S9+ pametni telefon bilo bi dobro provesti drugo istraživanje s drugim ISO vrijednostima kako bi se fotografija mogla kalibrirati i provjeriti dobivene vrijednosti. Preporuka je smanjenje ISO vrijednosti za navedeni uređaj prilikom fotografiranja s uključenim frontalnim ili lateralnim osvjetljenjem na Smile Lite MDP uređaju ili povećanje udaljenosti od objekta snimanja.

Rezultati nekalibriranih RAW fotografija dobivenih Samsung S9+ pametnim telefonom pokazali su statistički značajnu razliku u vrijednostima $L^*a^*b^*$ između fotografije s polarizacijskim filterom i fotografija s drugim osvjetljenjima ($p < 0.05$; Tablica 12). Fotografije s polarizacijskim filterom imale su najniže L^* vrijednosti jer je pri njihovom snimanju osvjetljenje bilo najslabije. Vrijednosti a^* su bile također najniže na fotografijama snimljenima s polarizacijskim filterom, dok su vrijednosti b^* bile najviše u usporedbi s drugim fotografijama s različitim osvjetljenjem (Slika 24.). To se također može objasniti najvećom razlikom u jačini svjetla pri snimanju fotografija s polarizacijskim filterom (P). Budući da su nekalibrirane fotografije s polarizacijskim filterom (P) bile izrazito tamne, preporuka je pri snimanju takvih

fotografija povećati vrijednosti ISO na Samsung S9+ pametnom telefonu na više od 100 ili smanjiti udaljenost između uređaja i objekta snimanja. Time bi $L^*a^*b^*$ vrijednosti možda postale bliže stvarnima.

Kalibrirane JPEG fotografije dobivene Samsung S9+ pametnim telefonom s frontalnim i lateralnim osvjetljenjem, kao i one RAW formata, nije bilo moguće kalibrirati (Slika 25.). Razlog je vjerojatno isti kao i kod RAW formata. Smanjenjem ISO vrijednosti na samom uređaju ispod 100 i/ili udaljavanjem od objekta snimanja bilo bi moguće kalibrirati navedene fotografije kako bi se navedene vrijednosti mogle usporediti s ostalima. Na preostalim fotografijama koje je bilo moguće kalibrirati, fotografije s polarizacijskim filterom pokazale su statistički značajno niže L^* vrijednosti od ostalih, dok su vrijednosti a^* i b^* bile značajno više ($p < 0.05$; Tablica 13.). To možemo objasniti znatno slabijim osvjetljenjem pri korištenju polarizacijskog filtera kod Samsung S9+ pametnog telefona. Kako bi se povećale L^* vrijednosti i približile stvarnima, potrebno je snimati te fotografije s drugim ISO vrijednostima koje bi bile više od 100. Povećanjem ISO vrijednosti, povećala bi se osjetljivost senzora pametnog telefona na svjetlost što utječe na L^* vrijednosti.

Nekalibrirane JPEG fotografije dobivene Samsung S9+ pametnim telefonom pokazale su statistički značajno niže vrijednosti L^* na fotografijama s polarizacijskim filterom u odnosu na druga osvjetljenja ($p < 0.05$; Tablica 14.). Na fotografijama s polarizacijskim filterom L^* vrijednosti bile su izrazito niske, ispod 50, što ukazuje na nedostatak osvjetljenja pri njihovom snimanju, dok su L^* vrijednosti na fotografijama s frontalnim i lateralnim osvjetljenjem bile iznad 90 (Slika 26.). Nekalibrirane JPEG fotografije fotografirane Samsung S9+ pametnim telefonom s polarizacijskim filterom (P) bile su najtamnije, a one s frontalnim (F) i lateralnim (L) svjetlom najsvjetlije. S obzirom na ovakve rezultate, pri fotografiranju s uključenim frontalnim ili lateralnim osvjetljivačem na Smile Lite MDP uređaju, vrijednosti ISO na Samsung S9+ pametnom telefonu trebalo bi smanjiti ispod 100, kako bi se smanjila osjetljivost senzora leće uređaja na svjetlost, dok bi se pri snimanju fotografija s polarizacijskim filterom (P) trebala povećati kako bi se osjetljivost senzora na svjetlost povećala.

Rezultati kalibriranih RAW fotografija dobivenih Huawei P20 Pro pametnim telefonom pokazali su da nema statistički značajne razlike između L^* vrijednosti uza sva osvjetljenja (Tablica 19.) Prilikom kalibracije fotografija u kompjuterskom programu, fotografije koje su bile tamnije nakon kalibracije su postale nešto svjetlije, dok su svjetlije fotografije nakon kalibracije postale nešto tamnije pa se razlika u svjetlini svih fotografija u skupini nakon

kalibracije smanjila te nema statistički značajne razlike. Statistički značajna razlika postoji u vrijednosti b^* ($p < 0,05$; Tablica 19.) na fotografijama s polarizacijskim filterom (Slika 27.).

Rezultati nekalibriranih RAW fotografija dobivenih Huawei P20 Pro pametnim telefonom pokazali su da postoji statistički značajna razlika u vrijednosti L^* na fotografiji s polarizacijskim filterom ($p < 0,05$) u odnosu na fotografije s drugim osvjetljenjima, dok su b^* vrijednosti na istim fotografijama bile statistički značajno više ($p < 0,05$; Tablica 20.) (Slika 28.). Razlog tome je vjerojatno znatno manja razina osvjetljenja pri snimanju fotografija s polarizacijskim filterom pa su kao i kod iPhone 11 Pro i Samsung S9+ uređaja L^* vrijednosti na fotografijama s polarizacijskim filterom najniže u odnosu prema fotografijama s drugim osvjetljenjima. Na navednim fotografijama nema odsjaja od cakline koji se vidi u većoj ili manjoj mjeri na fotografijama snimljenima sa svim drugim osvjetljenjima, što smanjuje iznos L^* vrijednosti. Prema dobivenim rezultatima fotografije snimljene s polarizacijskim filterom bile su najtamnije s najvećim udjelom žutog tona u boji zuba.

Rezultati kalibriranih JPEG fotografija dobivenih Huawei P20 Pro pametnim telefonom pokazali su značajnu razliku u L^* vrijednostima na fotografijama s frontalnim svjetlom koja je bila niža od ostalih ($p < 0,05$), dok su a^* vrijednosti na istim fotografijama bile značajno više ($p < 0,05$; Tablica 21.). Značajno su više b^* vrijednosti na fotografijama s lateralnim osvjetljenjem ($p < 0,05$; Tablica 21.). Kao i kod RAW fotografija prilikom kalibracije, fotografije koje su bile tamnije su nakon kalibracije postale nešto svjetlije, dok su one svjetlije nakon kalibracije postale tamnije što je rezultiralo da se razlika u svjetlini L^* između fotografija smanjila. Prema dobivenim rezultatima fotografije s frontalnim svjetlom bile su najtamnije s najvećim udjelom crvene boje.

Nekalibrirane JPEG fotografije snimljene Huawei P20 Pro pametnim telefonom pokazale su najniže L^* vrijednosti na fotografijama s polarizacijskim filterom, dok su a^* vrijednosti značajno niže u usporedbi s fotografijama s ostalim vrstama osvjetljenja ($p < 0,05$; Tablica 22.). Rezultati su također pokazali da su b^* vrijednosti na fotografiji s polarizacijskim filterom najviše u usporedbi s onima pod ostalim osvjetljenjima ($p < 0,05$; Tablica 22.). Nekalibrirane JPEG fotografije s polarizacijskim filterom sa Huawei Pro20 pametnog telefona u usporedbi s onima snimljenima uz drugo osvjetljenje daju najtamniju i najžuću sliku (Slika 30.), dok na kalibriranoj JPEG fotografiji s istog uređaja te razlike u L^* vrijednosti nema, već se ona javlja na fotografiji snimljenoj s frontalnim svjetlom (Slika 29.). Fotografija snimljena Huawei Pro20 pametnim telefonom i uz frontalno osvjetljenje najtamnija je i najzelenija.

Iako pregledom dostupne literature nema istraživanja koja su uspoređivala različitost boje zuba na fotografijama s obzirom na različita osvjetljenja, ovo se istraživanje poklapa s drugim istraživanjima koja su dokazala da kvaliteta i količina svjetlosti utječu na percepciju i određivanje boje zuba pa možemo reći da različito osvjetljenje ima utjecaj na $L^*a^*b^*$ vrijednosti na fotografijama. Corcodel i sur. su u svome istraživanju proučavali fenomen metamerizma i dokazali da uspoređivanje zuba s ključem boje pod različitim osvjetljenjem može dati različite rezultate ovisno o vanjskom osvjetljenju, koji značajno mogu utjecati na konačan odabir boje (195). U istraživanju Parka i sur. dokazan je utjecaj vanjskog osvjetljenja na percepciju i odabir boje dvaju različitih ključeva boja, koji je dokazano bio klinički značajan (196). Cha i Lee su u svome istraživanju također proučavali utjecaj vanjskog osvjetljenja na odabir boje zuba pomoću ključa boja (197). Dokazali su da različita vanjska osvjetljenja imaju značajan klinički utjecaj pri odabiru boje.

Prema rezultatima ovog istraživanja, druga hipoteza je odbačena. Rezultati su pokazali da postoji razlika u $L^*a^*b^*$ vrijednostima između kalibriranih i nekalibriranih fotografija s istim osvjetljenjem dobivenih istim pametnim telefonom i to za sva tri pametna telefona korištena u ovom istraživanju.

Uspoređujući rezultate između kalibriranih i nekalibriranih RAW fotografija na iPhone 11 Pro pametnom telefonu u ovom istraživanju, postoji razlika među dvjema skupinama fotografija i u većini slučajeva ta je razlika statistički značajna ($p < 0.05$; Tablica 8.). Na svim nekalibriranim RAW fotografijama L^* vrijednosti bile su više nego na fotografijama na kojima je provedena kalibracija ($p < 0.05$; Tablica 8.), dok su sve a^* vrijednosti bile značajno niže ($p < 0.05$; Tablica 8.) na nekalibriranim RAW fotografijama nego na kalibriranim. Sličan rezultat bio je za b^* vrijednosti. One su također bile niže na nekalibriranim RAW fotografijama, osim na fotografijama snimljenima s polarizirajućim filterom, ali nisu dosegnule razinu značajnosti ($p > 0.05$; Tablica 8.). Iz navedenih rezultata možemo zaključiti da su nekalibrirane RAW fotografije dobivene iPhone 11 Pro pametnim telefonom, uspoređujući ih s kalibriranim RAW fotografijama, svjetlije i s manjim udjelom crvene i žute boje.

Uspoređujući rezultate ovoga istraživanja, među kalibriranim JPEG fotografijama snimljenima iPhone 11 Pro pametnim telefonom i nekalibriranim snimljenima istim uređajem postoji razlika, ali nije kao na RAW fotografija statistički značajna u svim vrijednostima. Iz Tablice 9. vidljivo je da su L^* vrijednosti nekalibriranih JPEG fotografija značajno više pri svim osvjetljenjima ($p < 0.05$; Tablica 10.). Jednako tako, b^* vrijednosti su pri svim osvjetljenjima na

nekalibriranim fotografijama bile značajno niže, osim u slučaju fotografije s polarizacijskim filterom (P) na kojoj je bila na granici značajnosti ($p > 0,05$; Tablica 10.). Vrijednosti a^* su u svim osvjetljenjima bile niže na nekalibriranim fotografijama, ali često granično ($p > 0,05$; Tablica 10.) Stoga iz navedenih rezultata u ovom istraživanju možemo zaključiti da su nekalibrirane JPEG fotografije snimljene iPhone 11 Pro Pametnim telefonom pri svim osvjetljenjima bile svjetlije od kalibriranih i s manje žutog tona u boji zuba pri svim osvjetljenjima osim onog s polarizacijskim filterom, dok su granično imale manje crvenog tona.

Uspoređujući rezultate kalibriranih i nekalibriranih RAW fotografija na Samsung S9+ pametnom telefonu, postoji razlika među dvjema skupinama fotografijama. Budući da se postupak kalibracije nije mogao provesti na RAW fotografijama s frontalnim (F) i lateralnim (L) osvjetljenjem, usporedbu smo napravili na fotografijama s difuzorima (D), polarizacijskim (P) i hibridnim (H) filterom. Rezultati su pokazali da su na nekalibriranim fotografijama s difuzorima (D) i hibridnim filterom (H) L^* vrijednosti značajno više, a vrijednosti a^* i b^* značajno niže od onih na kalibriranim fotografijama, dok su na fotografijama s polarizacijskim filterom (P) L^* i a^* vrijednosti značajno niže, a b^* vrijednosti granično više ($p < 0,05$; Tablice 15. i 16.). Iz navedenih rezultata možemo zaključiti da su nekalibrirane RAW fotografije dobivene Samsung S9+ pametnim telefonom s difuzorima (D) i hibridnim filterom (H) svjetlije od kalibriranih te s slabijim intenzitetom crvenog i žutog tona. Nekalibrirane RAW fotografije s polaroidnim filterom znatno su tamnije i s manjim udjelom crvenih tonova na zubu od kalibriranih, dok je razina žutih tonova boje granično viša nego na kalibriranim fotografijama. Uspoređujući rezultate između kalibriranih i nekalibriranih JPEG fotografija na Samsung S9+ pametnom telefonu u ovom istraživanju smo dokazali da i između njih postoji statistički značajna razlika (Tablica 17. i 18.). S obzirom da se pri snimanju fotografija s frontalnim (F) i lateralnim (L) svjetlom na Smile Lite MDP uređaju postupak kalibracije nije mogao provesti kao i kod RAW fotografija, usporedili smo rezultate fotografija s osvjetljenjima na kojima je kalibracija provedena.

Rezultati su pokazali da su L^* vrijednosti na nekalibriranim fotografijama s difuzorima (D) značajno više, dok su a^* i b^* vrijednosti značajno niže ($p < 0,05$; Tablice 17. i 18.). To bi značilo da su nekalibrirane fotografije s difuzorima (D) svjetlije s manje crvenih i žutih tonova od kalibrirane fotografije. Na nekalibriranim fotografijama s polarizacijskim filterom (P) L^* vrijednosti su bile značajno niže od onih na kalibriranim fotografijama, što bi značilo da su nekalibrirane fotografije bile znatno tamnije od kalibriranih, s manje crvenih i žutih tonova.

Da bi se mogla provesti potpuna kalibracija na svim fotografijama snimljenima Samsung S9+, potrebno je možda provesti modifikaciju postavki, osobito ISO vrijednosti. Kalibracija je na fotografijama sa Samsunga, koje su imale povećanu vrijednost, svjetline smanjivala, a na onima na kojima je bila mala, povećavala. Moguće je da bi za Samsung fotografije snimljene polarizacijskim filterom (P) bilo dobro povećati ISO vrijednosti, dok ih je za fotografije s frontalnim (F) i lateralnim (L) svjetlom potrebno smanjiti. Mislimo da bi se na taj način za fotografije koje se nisu mogle kalibrirati mogao provesti postupak kalibracije, a za fotografije s polarizirajućim filterom, koje su izrazito tamne, dobile točnije vrijednosti. Budući da nismo našli slična istraživanja koja su uspoređivala razliku u boji zuba izmjerenu na kalibriranim i nekalibriranim RAW i JPEG fotografija te kako promjene postavki kamere na pametnom telefonu utječu na kalibraciju fotografija, potrebno je provesti dodatna istraživanja u vezi s tom temom.

Uspoređujući rezultate između kalibriranih i nekalibriranih RAW fotografija snimljenih Huawei P20 Pro pametnim telefonom u ovom istraživanju, postoji razlika među dvjema skupinama fotografija. Rezultati su pokazali kako su L^* vrijednosti na RAW nekalibriranim fotografijama s frontalnim (F), lateralnim (L) svjetlom i difuzorima (D) značajno više, a a^* i b^* vrijednosti značajno niže ($p < 0,05$; Tablica 23. i 24.). Možemo zaključiti da su nekalibrirane fotografije pod navedenim osvjetljenjima svjetlije od kalibriranih s manje izraženim crvenim i žutim tonovima. Na nekalibriranim RAW fotografijama s polarizacijskim filterom (P) L^* i a^* vrijednosti bile su značajno niže, a b^* vrijednosti granično više ($p > 0,05$; Tablice 23. i 24.) pa možemo zaključiti da su nekalibrirane fotografije s polarizacijskim filterom (P) tamnije i s manje izraženim crvenim tonovima te nešto žuće. Kod nekalibriranih RAW fotografija s hibridnim filterom (H) L^* vrijednosti su bile značajno više, a a^* vrijednosti značajno niže, a b^* granično više ($p > 0,05$; Tablica 23. i 24.), što bi značilo da su nekalibrirane RAW fotografije s hibridnim filterom (H) svjetlije s manje crvenih tonova i nešto žuće od nekalibriranih.

Uspoređujući rezultate između kalibriranih i nekalibriranih JPEG fotografija snimljenih Huawei P20 Pro pametnim telefonom u ovom istraživanju postoji razlika među dvjema skupinama fotografija. Rezultati su pokazali da su L^* vrijednosti nekalibriranih JPEG fotografija s frontalnim (F), lateralnim (L) svjetlom i difuzorima (D) znatno više, dok su a^* i b^* vrijednosti značajno niže ($p < 0,05$; Tablica 25. i 26.), što znači da su nekalibrirane fotografije značajno svjetlije te sadrže manje crvenih i žutih tonova na fotografijama zuba. Na

nekalibriranim JPEG fotografijama s polarizacijskim (P) i hibirdnim (H) filterom L^* i a^* vrijednosti su značajno niže, a b^* vrijednosti značajno više ($p < 0.05$; Tablica 25. i 26.), što znači da su nekalibrirane JPEG fotografije s filterima (P i H) značajno tamnije i s manje crvenih tonova, a manje žutih na zubima.

Gledajući ukupne rezultate ovog istraživanja nekalibriranih i kalibriranih fotografija snimljenih svim trima pametnim telefonima, možemo zaključiti da su nekalibrirane fotografije svjetlije od nekalibriranih, osim nekalibriranih fotografija s polarizacijskim filterom Samsung S9+ i Huawei P20 Pro pametnih telefona, koje su tamnije od kalibriranih, s pojedinim odstupanjima, ovisno o tome je li riječ o RAW ili JPEG formatu fotografije.

Postupak kalibracije uveden je za fotografije snimljene DSLR kamerama jer one nemaju procesor, za razliku od pametnih telefona koji imaju mogućnost korekcije balansa bijele boje (WB) (61,62,189). Na pametnim telefonima najnovijih generacija ta se opcija može staviti na opciju auto ili se može ručno prilagoditi (198). U ovom istraživanju WB je postavljen na vrijednost 5500K, kolika je temperatura dnevnog svjetla. DSLR kamere nemaju tu opciju, stoga se kao postupak uvodi kalibracija pomoću sive kartice koja ima zadane L^* , a^* , b^* vrijednosti.

Prema rezultatima ovog istraživanja, treća hipoteza je odbačena. Rezultati su pokazali da postoji razlika u L^* , a^* , b^* vrijednostima RAW i JPEG formata fotografija istog ispitanika snimljenih trima različitim pametnim telefonima korištenima u ovome istraživanju.

Uspoređujući rezultate s kalibriranih RAW fotografija snimljenih trima različitim pametnim telefonima u ovom istraživanju, postoji statistički značajna razlika među tri skupine fotografija snimljenih različitim pametnim telefonima.

Uspoređivali smo rezultate s tri osvjetljenja s obzirom da za fotografije snimljene Samsung S9+ pametnim telefonom nije bilo moguće provesti postupak kalibracije pri frontalnom (F) i lateralnom (L) osvjetljenju. Rezultati pokazuju da fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom imaju najniže L^* i a^* vrijednosti te najviše b^* vrijednosti (Slika 31.). Fotografije snimljene Huawei P20 Pro pametnim telefonom pri sva tri osvjetljenja imale su najviše L^* i a^* vrijednosti te najniže b^* vrijednosti (Slika 31.). Ovi rezultati pokazuju da iPhone 11 Pro pametni telefon daje najtamnije slike s najnižim vrijednostima crvenih tonova te najvišim udjelom žutih tonova, dok Huawei P20 Pro daje najsvjetliju sliku s najvećim udjelom crvenih tonova, a najmanjim udjelom žutih tonova na fotografiji zuba.

Uspoređujući rezultate između kalibriranih JPEG fotografija snimljenih tri različita pametnim telefonima u ovom istraživanju, postoji statistički značajna razlika između tri skupine fotografija snimljenih različitim telefonima. Kao i za RAW format, zbog nemogućnosti kalibracije fotografija s frontalnim (F) i lateralnim (L) osvjetljenjem na Samsung S9+ pametnom telefonu usporedbu rezultata triju pametnih telefona proveli smo na fotografijama s preostala tri osvjetljenja uz kalibraciju. Rezultati su pokazali da kalibrirane JPEG fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom uza sva tri osvjetljenja (D-difuzor; P-polarizacijski filter; H-hibridni filter) imaju najniže L^* vrijednosti te najviše a^* i b^* vrijednosti (Slika 32.). Fotografije snimljene Huawei P20 Pro pametnim telefonom uz ista tri osvjetljenja imale su najviše L^* vrijednosti i najniže a^* i b^* vrijednosti (Slika 32.). Rezultati u ovom istraživanju pokazuju da su kalibrirane fotografije u JPEG formatu snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom najtamnije i s najvećim udjelom crvenih i žutih tonova na fotografiji zuba, dok su fotografije snimljene Huawei P20 Pro pametnim telefonom bile najsvjetlije i s najmanjim udjelom crvenih i žutih tonova u boji zuba na fotografiji.

Unatoč provedenoj kalibraciji svaki pametni telefon korišten u ovom istraživanju dao je druge $L^*a^*b^*$ vrijednosti, što dokazuje da svaki pametni telefon, neovisno o tome što su im postavke kamere postavljene na iste ili što sličnije vrijednosti, drugačije procesira snimljenu fotografiju. Svaki pametni telefon ovisno o proizvođaču ima svoje procesor koji koristi drugi algoritam za obradu fotografije, što može objasniti razlike među $L^*a^*b^*$ vrijednostima (198).

Uspoređujući rezultate nekalibriranih RAW fotografija uz pet različitih osvjetljenja s triju pametnih telefona, rezultati su nešto drugačiji od kalibriranih, iako postoji statistički značajna razlika među tri pametna telefona.

Fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom s frontalnim (F) i lateralnim (L) osvjetljenjem imale su najniže L^* i najviše a^* i b^* vrijednosti, na fotografijama s difuzorima (D) najviše su a^* i b^* vrijednosti, a na onima s polarizacijskim (P) i hibridnim (H) filterom najviše L^* i najniže a^* vrijednosti (Slika 33.). Iz navedenih rezultata možemo reći da iPhone 11 Pro pametni telefon pri frontalnom (F) i lateralnom (L) osvjetljenju daje najtamniju fotografiju s najvećim udjelom crvenih i žutih tonova, dok se postavljanjem difuzora (D), koji smanjuju refleksiju lateralnog osvjetljenja, dobiva fotografija s najvećim udjelom crvenih i žutih tonova, a s postavljenim filterima najsvjetlija među svim fotografijama dobivenima drugim pametnim telefonima. Ovi rezultati se razlikuju ako ih uspoređujemo s kalibriranim fotografijama s filterima i difuzorima. Fotografije snimljene iPhoneom 11 Pro bile su

najtamnije u skupini, što potvrđuje da postupak kalibracije smanjuje svjetlinu njegovih fotografija snimljenih uz filtere i difuzore. Usporedbom L^* vrijednosti s kalibriranih i nekalibriranih fotografija iPhone 11 Pro pametnoga telefona s L^* vrijednostima na istim fotografijama s druga dva pametna telefona vidljivo je da postupka kalibracije najmanje mijena L^* vrijednosti na fotografijama snimljenim iPhone 11 Pro pametnim telefonom.

Fotografije snimljene Huawei P20 Pro pametnim telefonom pri osvjetljenju s difuzorima (D), polarizacijskim (P) i hibridnim (H) filterima imaju najniže L^* vrijednosti, a uz hibridni filter (H) b^* vrijednosti su bile najviše (Slika 33.). To znači da su navedene fotografije najtamnije, a s hibridnim filterom (H) najžučje. Kao i kod iPhonea 11 Pro pametnog telefona, ovi rezultati su u suprotnosti s onima kalibriranih RAW fotografija, kad su Huawei P20 Pro fotografije bile najsvjetlije. Ova promjena u rezultatima može se pripisati kalibraciji. Usporedbom L^* vrijednosti s kalibriranih i nekalibriranih fotografija Huawei P20 Pro pametnoga telefona s L^* vrijednostima na istim fotografijama s druga dva pametna telefona vidljivo je da postupka kalibracije najviše mijenja L^* vrijednosti na fotografijama snimljenima s Huawei P20 Pro pametnim telefonom.

Na nekalibriranim RAW fotografijama snimljenima Samsung S9+ pametnim telefonom pri frontalnom (F), lateralnom (L) osvjetljenju te korištenjem difuzora (D) L^* vrijednosti su bile najviše, dok su a^* i b^* vrijednosti bile najniže (Slika 33.). Ovaj rezultat može se objasniti time što su navedene fotografije pri postavki aparata na ISO 100 dale neprirodno svijetlu sliku zuba, gotovo blještavo bijelu pa je i logično da su L^* vrijednosti bile najviše. Iz istog razloga na Samsung S9+ fotografijama s frontalnim (F) i lateralnim (L) osvjetljenjem nije bilo moguće provesti postupak kalibracije sive kartice, jer kompjuterski program sivu karticu nije pri tom osvjetljenju prepoznao kao neutralno područje. Na fotografijama gdje su L^* vrijednosti bile najviše, vrijednosti a^* i b^* bile su najniže, što se moglo očekivati s obzirom da je zbog prejakog osvjetljenja zub na fotografijama djelovao neprirodno bijel. Prema rezultatima u ovome istraživanju Samsung S9+ daje najsvjetliju sliku s najmanjim udjelom crvenih i žutih tonova na fotografiji.

Uspoređujući rezultate između nekalibriranih JPEG fotografija uz pet različitih osvjetljenja snimljenih trima pametnim telefonima u ovom istraživanju, dokazali smo da postoji statistički značajna razlika među fotografijama snimljenima trima pametnim telefonima korištenima u ovom istraživanju.

Nekalibrirane JPEG fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom u svim osvjetljenjima imale su najniže L^* te najviše a^* i b^* vrijednosti. Iz navedenih rezultata možemo

zaključiti da iPhone 11 Pro pametni telefon s postavkama koje su korištene u ovom istraživanju, uspoređujući s preostala dva pametna telefona, daje najtamniju fotografiju s najvećim udjelom crvenih i žutih tonova (Slika 34.).

Nekalibrirane su JPEG fotografije snimljene Samsung S9+ pametnim telefonom pri frontalnom (F) i lateralnom (L) osvjetljenju te difuzorima (D) imale najviše L^* i najniže a^* i b^* vrijednosti, a uz polarizacijski (P) i hibridni (H) filter najniže a^* i b^* vrijednosti (Slika 34.). Možemo zaključiti da Samsung S9+ pametni telefon s postavkama koje su korištene u ovome istraživanju, uspoređujući s druga dva pametna telefona, pri navedenim osvjetljenjima daje najsvjetliju sliku, dok uza svih pet osvjetljenja daje fotografije s najmanje crvenih i žutih tonova.

Nekalibrirane JPEG fotografije snimane Huawei mobilnim uređajem s polarizacijskim i hibridnim filterom imale su najniže L^* vrijednosti (Slika 34.), što znači da su one korištenjem navedena dva osvjetljenja bila najtamnije.

Kod nekalkibriranih fotografija, kao kod kalibriranih svaki pametni telefon korišten u ovom istraživanju dao je druge $L^*a^*b^*$ vrijednosti, što još jednom dokazuje da svaki pametni telefon, neovisno o tome što su im postavke kamere postavljene na iste ili što sličnije vrijednosti, drugačije procesira snimljenu fotografiju. Svaki pametni telefon ovisno o proizvođaču ima svoje procesor koji koristi drugi algoritam za obradu fotografije, što može objasniti razlike među $L^*a^*b^*$ vrijednostima (198).

Prema rezultatima ovog istraživanja, četvrta hipoteza je odbačena. Rezultati su pokazali da postoji značajna razlika u $L^*a^*b^*$ vrijednostima fotografija i $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima spektrofotometrom istoga ispitanika.

Rezultati mjerenja spektrofotometrom na uzorku u ovom istraživanju pokazali su relativno visoke L^* i b^* vrijednosti, dok su a^* vrijednosti bile blago negativne (Slika 35.). Iz dobivenih rezultata možemo zaključiti da su zubi koji su snimani u ovome istraživanju bili izrazito svijetli s malim udjelom zelene boje u zubu i relativno visokim udjelom žute boje. Budući da su u ovom istraživanju mjereni gornji desni središnji sjekutići, a ispitanici koji su sudjelovali u istraživanju spadaju u mlađu populaciju, relativno su visoke L^* vrijednosti dobivene spektrofotometrom. Iz prethodnih istraživanja znamo da mlađa populacija ima svjetlije zube te da starenjem zubi postaju žuć i tamniji (117). Također, dokazano je da su gornji središnji sjekutići najsvjetliji prednji zubi, dok su očnjaci najtamniji i najžućiji (16).

U ovom istraživanju uspoređivali smo $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene spektrofotometrom sa svim izmjerenim kalibriranim i nekalibriranim $L^*a^*b^*$ vrijednostima na RAW i JPEG fotografijama uz 5 različitih osvjetljenja fotografiranim na tri pametna telefona korištena u ovom istraživanju. U tablicama 27.-30. označene su $L^*a^*b^*$ vrijednosti koje su se poklapale na spektrofotometrijskom mjerenju i one dobivene na temelju digitalne fotografije ($p > 0,05$).

Rezultati su pokazali da su se fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom najčešće poklapale s istim spektrofotometrijskim mjerenjima (Tablica 27.-30.). Na kalibriranim RAW fotografijama snimljenima iPhone 11 Pro pametnim telefonom u svim osvjetljenjima poklapale su se b^* vrijednosti, a uz osvjetljenja s polarizacijskim filterom (P) i L^* vrijednosti ($p > 0,05$; Tablica 27.). Na nekalibriranim RAW fotografijama snimljenima istim pametnim telefonom poklapale su se L^* vrijednosti u svim osvjetljenjima osim u frontalnom (F), dok su se $L^*a^*b^*$ vrijednosti poklapale na fotografijama s polarizacijskim filterom ($p > 0,05$; Tablica 28.).

Na JPEG kalibriranim fotografijama snimljenima iPhone 11 Pro pametnim telefonom poklapala se samo L^* vrijednost na fotografijama s frontalnim (F) svjetlom, a na JPEG nekalibriranim fotografijama L^* vrijednost na onima s lateralnim (L) svjetlom i hibridnim (H) filterom ($p > 0,05$; Tablice 29. i 30.). Ujedno su RAW nekalibrirane fotografije s polarizacijskim filterom snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom bile jedine u ovom istraživanju u kojima su se $L^*a^*b^*$ vrijednosti poklapale s istima izmjerenima spektrofotometrom. Iz navedenih rezultata možemo zaključiti da se nekalibrirane RAW fotografije snimljene iPhone 11 Pro pametnim telefonom s postavkama korištenima u ovom istraživanju i zajedno sa Smile Lite MDP uređajem i polarizacijskim filterom (P) mogu koristiti kao metoda za određivanje boje zuba. U ovom se istraživanju Smile Lite MDP uređaj pokazao kao koristan budući da u njegovu setu dolazi polarizacijski filter koji uklanja refleksiju cakline zuba na fotografijama, vidljivu kao odsjaj, koji na fotografijama bez polarizacijskog filtera i uz druga osvjetljenja postoji i daje drugačije rezultate od onih mjerenih spektrofotometrom. Druge se kombinacije osvjetljenja korištene u ovom istraživanju na iPhone 11 Pro pametnom telefonu nisu pokazale točnima budući da se kod njih $L^*a^*b^*$ vrijednosti ne poklapaju s onima mjerenima spektrofotometrom u potpunosti, nego samo djelomično. Iz rezultata ovog istraživanja u usporedbi s spektrofotometrom možemo zaključiti da se RAW format fotografije pokazao boljim od JPEG-a jer se u JPEG formatu $L^*a^*b^*$ vrijednosti na fotografijama s polarizacijskim filterom nisu poklapale s onima izmjernima spektrofotometrom. Prema rezultatima ovog istraživanja,

postupak kalibracije fotografija dobivenih iPhone 11 Pro pametnim telefonom pokazao se nepotrebnim budući da su $L^*a^*b^*$ vrijednosti na kalibriranim RAW fotografijama pokazale manje poklapanje u odnosu prema onima mjerenima spektrofotometrom.

Rezultati su također pokazali da je najmanje poklapanja među fotografijama snimljenima Samsung S9+ pametnim telefonom i spektrofotometrom. Na kalibriranim RAW fotografijama snimljenima Samsung S9+ pametnim telefonom uz 3 različita osvjetljenja nije bilo nikakvih poklapanja sa spektrofotometrijskim mjerenjima ($p < 0.05$; Tablica 27.). Na nekalibriranim RAW fotografijama s polarizacijskim filterom poklapale su se b^* vrijednosti, a na onima s hibridnim filterom L^* i a^* vrijednosti ($p < 0.05$; Tablica 28.). Na kalibriranim JPEG fotografijama snimljenima uz 3 različita osvjetljenja Samsung S9+ pametnim telefonom poklapale su se a^* pri korištenju difuzora, a na nekalibriranim JPEG fotografijama L^* vrijednosti pri osvjetljenju s difuzoru ($p > 0.05$; Tablice 29. i 30.).

Mogući razlog najmanjeg podudaranja $L^*a^*b^*$ vrijednosti na fotografijama snimljenima sa Samsung S9+ pametnim telefonom i $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerenih spektrofotometrom u postavkama kamere pametnog telefona koje su bile zadane u ovome istraživanju. Potrebno je provesti dodatna istraživanja s drugačijim postavkama kamere pametnog telefona kako bi se ispitalo pri kojim zadanim vrijednostima dobivene fotografije daju rezultate bliže onima mjernima spektrofotometrom. Odabir vrijednosti ISO 100 na Samsung S9+ uređaju pokazao se prenizak za fotografije snimljene s polarizacijskim filterom, što je mogući razlog zašto su navedene fotografije znatno tamnije. Kao i iPhone 11 Pro, Samsung S9+ imao je najviše podudaranja $L^*a^*b^*$ vrijednosti u nekalibriranom RAW formatu fotografije, ali pri hibridnom (H) osvjetljenju, koje se u slučaju Samsung S9+ pametnog telefona pokazalo bolje od polarizacijskog filtera.

Na kalibriranim RAW fotografijama snimljenima Huawei P20 Pro pametnim telefonom poklapanja s $L^*a^*b^*$ vrijednostima spektrofotometra nije bilo ni pri jednom osvjetljenju, jednako kao i kod Samsung S9+ pametnog telefona ($p > 0.05$; Tablica 27.). Na nekalibriranim RAW fotografijama poklapanje je pronađeno za b^* vrijednost pri korištenju polarizacijskog filtera ($p > 0.05$; Tablica 28.).

Na kalibriranim JPEG fotografijama snimljenima Huawei P20 Pro pametnim telefonom poklapale su se b^* vrijednosti na fotografijama s frontalnim svjetlom te L^* i b^* vrijednosti na onima fotografiranim uz polarizacijsko svjetlo ($p > 0.05$; Tablica 29.). Na nekalibriranim JPEG fotografijama L^* vrijednosti su se poklapale na fotografijama s frontalnim svjetlom te a^* i b^*

vrijednosti na onima s polarizacijskim filterom ($p > 0.05$; Tablica 30.). Mogući je razlog slabijeg podudaranja $L^*a^*b^*$ vrijednosti između spektrofotometra i Huawei P20 Pro pametnog telefona u postavkama kamere pametnog telefona koje su podešene u ovom istraživanju. Treba provesti nova istraživanja u kojima bi se utvrdilo pri kojim bi postavkama pametnog telefona Huawei pametni telefon dao rezultate bliže rezultatima dobivenima mjerenjem spektrofotometrom. Zanimljivo je da je u ovom istraživanju Huawei P20 Pro dao rezultate najbliže onima snimljenima spektrofotometrom u JPEG formatu, dok u RAW formatu gotovo nije bilo poklapanja ni u jednoj od mjerenih vrijednosti. Mogući razlog tome je drugačiji procesor Huawei P20 Pro pametnog telefona koji u procesu obrađivanja i komprimiranja slike stvara fotografiju čije su boje sličnije onima kakve zaista jesu, za razliku od RAW formata kod kojeg poklapanja gotovo nema. Također, kao i iPhone 11 Pro, rezultate najbližije spektrofotometru imao je na fotografijama s polarizacijskim filterom. Stoga se, na temelju rezultata dobivenih u ovom istraživanju, Huawei P20 Pro pametni telefon uz polarizacijski filter pokazao najkorisnijim za snimanje fotografija za određivanje boje zuba.

Rezultati ovog istraživanja odgovaraju istraživanju Lazar i sur. koji su ispitali poklapanja $L^*a^*b^*$ vrijednosti između spektrofotometra i fotografija dobivenih DSLR kamerom (187). Pokazalo se da su fotografije snimljene uz polarizacijskim filterom imale vrijednosti najbliže onima izmjerenima spektrofotometrom. Oni su također koristili RAW format fotografije. Razlika je između njihova i ovog istraživanja što su u ovom istraživanju fotografije koje nisu kalibrirane pokazale bolji rezultat od kalibriranih, dok je u istraživanju Lazara i sur. na fotografijama proveden postupak kalibracije. Razlog je što su fotografije u njihovu istraživanju snimljene DSLR kamerom, a u ovom pametnim telefonom. U njihovu je istraživanju drugo osvjetljenje, kao i u našem, pokazalo lošije rezultate od onih dobivenih polarizacijskim filterom. U drugom istraživanju Lazar i sur. su također dokazali da fotografije snimljene s polarizacijskim filterom daju vrijednosti sličnije onima izmjerenima spektrofotometrom od fotografija snimljenih bez polarizacijskog filtera. Navedene studije provedene su in vitro na uzorcima iz ključa boja, što ih razlikuje od ovog istraživanja (200).

Tam i Lee su u svome istraživanju ispitali točnost fotografije na određivanje boje zuba dobivene pametnim telefonom. Rezultati njihova istraživanja pokazali su da se fotografija dobivena pametnim telefonom može koristiti za određivanje boje zuba u zadanim uvjetima osvjetljenja (193). Razlika je između njihova i ovog istraživanja u modelu pametnog telefona. Budući da je njihovo istraživanje publicirano 2016. godine, korišten je stariji model pametnog

telefona na kojem nije bilo moguće zadati sve postavke kao na DSLR kameri ili na novijim modelima pametnih telefona. Također, oni su u svome istraživanju koristili JPEG format fotografije koji se pokazao dobrim. Mogući je razlog toga što su sve fotografije snimljene u in vitro uvjetima u kojima je lakše fotografirati, za razliku od snimanja fotografija in vivo, što je rađeno u ovome istraživanju.

U prethodnom istraživanju Tam i Lee su dokazali da se digitalna fotografija snimljena DSLR kamerom može koristiti kao metoda za određivanje boje zuba, ali također uz korištenje polarizacijskog filtera (P), što je u skladu s ovim istraživanjem (13). U odnosu na ovo istraživanje, korišten je samo JPEG format fotografije koji se pokazao dovoljno točan, za razliku od rezultata ovog istraživanja u kojima se RAW format pokazao boljim. Postavke DSLR kamere bile su nešto drugačije od postavki postavljenih na pametnim telefonima korištenima u ovom istraživanju. Postavka WB postavljena je na opciju auto, a SS na 1/200 s, za razliku od ovog istraživanja gdje je WB postavljen na 5500K, a SS na 1/125 s. DSLR kamera korištena u istraživanju Tam i Leea imala je postavljen ring flash koji stvara temperaturu svjetla 5500-5600 K. Tako da možemo reći da je postavka WB bila ista kao i u ovome istraživanju. Utjecaj postavke SS na kvalitetu fotografije za određivanje boje zuba nije istražen, ali možemo pretpostaviti da razlika u toj postavci između dva istraživanja nije tolika da bi mogla utjecati na kvalitetu boje na fotografiji.

Hardan u svome radu također preporučuje korištenje polarizacijskog filtera za snimanje fotografija pametnim telefonom u svrhu određivanja boje zuba (81).

Hein i sur. su dokazali da korištenje polarizacijskog filtera u svrhu određivanja boje zuba na temelju digitalne fotografije snimljene DSLR kamerom daju iste $L^*a^*b^*$ vrijednosti, kao i one dobivene spektrofotometrom, što je u skladu s ovim istraživanjem (61,62,189). U navedenom su istraživanju uspoređivane vrijednosti između spektrofotometra i fotografije dobivene DSLR kamerom, po čemu se razlikuje od ovog istraživanja. Korišten je RAW format fotografije, a istraživanje je provedeno in vitro na ekstrahiranim zubima, po čemu se razlikuje od ovog istraživanja, koje je provedeno in vivo. Hein i suradnici preporučuju RAW format fotografije i provođenje postupka kalibracije, što je djelomično u skladu s rezultatima ovog istraživanja. U ovom istraživanju RAW format fotografije pokazao se boljim od JPEG formata, ali je ujedno dokazano da postupka kalibracije nije potreban s obzirom da se na nekalibriranim fotografijama postigao bolji rezultat. Razlog tome je vjerojatno što je u istraživanju Heina i sur. korišten DSLR kamera, a ne pametan telefon koji za razlike od kamere ima vlastiti procesor i drugačije obrađuje snimljenu fotografiju.

Anand i suradnici uspoređivali su u svom istraživanju L^*a^*b vrijednosti postignute spektrofotometrom i DSLR kamerom i dokazali da su se L^* i b^* vrijednosti statistički značajno poklapale, dok su a^* vrijednosti imale veća odstupanja (201). Iako su oni snimali fotografije DSLR kamerom, po čemu se razlikuju od ovog istraživanja, kao i u ovom istraživanju najmanje su poklapanja dobili u a^* vrijednosti.

Nedostaci su ovog istraživanja što je istraživanje provedeno sa samo tri pametna telefona. Za detaljniju procjenu mogućnosti određivanja boje zuba na temelju digitalne dentalne fotografije snimljene pametnim telefonima potrebno je u istraživanje uključiti više različitih modela pametnih telefona budući da svaki model, čak i oni istog proizvođača, ima drugačiji procesor i obradu fotografije tijekom snimanje i nakon njega (198). Problem je istraživačkih radova koji uključuju pametne telefone u samoj brzini istraživanja. Proizvođači jako brzo „izbacuju“ nove modele pametnih telefona, a svaki novi model ima bolje mogućnosti snimanja. Dok se jedno istraživanje završi, proizvođači već izbace nove modele na tržište.

Drugi je nedostatak što se snimalo samo s jednim zadanim postavkama kamere. Trebalo bi provesti isto istraživanje s različitim postavkama kamere pametnih telefona. Budući da pametni telefoni zbog drugačije obrade fotografije funkcioniraju različito od DSLR kamera, moguće je da postavke koje vrijede za kamere nisu najbolje za fotografije za određivanje boje zuba snimljene pametnim telefonom. Bilo bi dobro provesti istraživanje s različitim postavkama kamere pametnog telefona i vidjeti pri kojima od njih daju najbolje rezultate za određivanje boje zuba na temelju dentalne fotografije.

Prednost je ovog istraživanja što je provedeno in vivo. Sve fotografije zubi snimljene su direktno u ustima ispitanika. Druga istraživanja koja su uspoređivala točnost digitalne fotografije kao metode za određivanje boje zuba uglavnom su provodila istraživanja in vitro fotografirajući ekstrahirane zube ili ključ boja. Nedostatak tih istraživanja je što stvaraju idealne uvjete za fotografiranje, a uvjeti za fotografiranje u ustima pacijenta su daleko od idealnih. Problem obično stvara nedostatak svjetla, jer usta su poput zatvorene kutije s jednim otvornom, potom plak, kamenac, slina i krv, pacijent koji je nemiran, odbljesak od retraktor koji se nalazi u blizini ciljanog mjesta snimanja i dr. Sve od navedenog komplicira fotografiranje i mogući je otežavajući faktor za dobivanje dovoljno kvalitetne fotografije. Istraživanja koja su provodila istraživanje na ekstrahiranim zubima nemaju faktor slina i plaka, jer su zubi očišćeni i dehidrirani, a fotografirani su na dobro osvijetljenom mjestu.

1. Vrsta osvjetljenja koja se koristi pri snimanju fotografije pametnim telefonom značajno utječe na $L^*a^*b^*$ vrijednosti digitalno izmjerene na fotografiji ($p < 0.05$).
2. Postupak digitalne kalibracije fotografije pomoću sive kartice značajno utječe na $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na fotografiji ($p < 0.05$). $L^*a^*b^*$ vrijednosti na nekalibriranim fotografijama snimljenima iPhone pametnim telefonom značajno su svjetlije, manje crvene i manje žute, one snimljene Samsung pametnim telefonom značajno tamnije, manje crvene i manje žute, a one snimljene Huawei pametnim telefonom značajno tamnije, manje crvene i jače žute od kalibriranih $L^*a^*b^*$ vrijednosti na istoj fotografiji ($p < 0.05$).
3. Vrsta pametnog telefona značajno utječe na $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene na fotografijama snimljenima s tri pametna telefona ($p < 0.05$). Na RAW kalibriranim fotografijama iPhone daje najtamniji, najmanje crveni i najžučiji izgled fotografije, a Huawei najsvjetliji, najcrveniji i najmanje žuti izgled ($p < 0.05$). Na JPEG nekalibriranim fotografijama iPhone daje najtamniji, najcrveniji i najžučiji izgled fotografije, a Huawei najsvjetliji, najmanje crveni i najmanje žuti izgled ($p < 0.05$). Na RAW nekalibriranim fotografijama $L^*a^*b^*$ vrijednosti značajno su se mijenjale ovisno o vrsti osvjetljenja koje je korišteno ($p < 0.05$). Na JPEG nekalibriranim fotografijama iPhone u svim osvjetljenjima ima najtamniji, najcrveniji i najžučiji izgled, Samsung kod frontalnog, lateralnog svjetla i difuzora najsvjetliji, najmanje žuti i najmanje crveni izgled, kod polaroidnog i hibridnog filtera najmanje crveni i najmanje žuti izgled dok je Huawei u tim osvjetljenjima najsvjetliji ($p < 0.05$).
4. $L^*a^*b^*$ vrijednosti izmjerene spektrofotometrom i digitalno na fotografijama značajno su se razlikovale i jedina fotografija koja se u $L^*a^*b^*$ vrijednostima u potpunosti poklapala sa $L^*a^*b^*$ vrijednostima izmjerenima spektrofotometrom bila je RAW nekalibrirana fotografija s polarizirajućim filterom snimljena iPhone pametnom telefonu ($p > 0.05$).

7. LITERATURA

1. Joda T, Zarone F, Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):124.
2. Ahmad I. Digital dental photography. Part 2: purposes and uses. *Br Dent J*. 2009;206(9):459-64.
3. Galante DL. History and current use of clinical photography in orthodontics. *J Calif Dent Assoc*. 2009;37(3):173-4.
4. Vaden LJ. Charles H. Tweed, 1895-1970. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147(5 Suppl):S171-9.
5. Bengel W. *Mastering Digital Dental Photography*. 1st ed. New Maiden, Surry (UK): Quintessence Publishers; 2006.
6. Sreevatsan R, Koshi P, Elbe P, Singh K, Gahlot MS. Digital photography in general and clinical dentistry.technical aspects and accessories. *IDSJRJ* [serial on the Internet]. 2015 Mar [cited 2020 Apr 10];3(1):17-24. Available from: https://www.innovativepublication.com/innovative-file?file=IDJSR+0147_1.pdf
7. Kalpana D, Rao SJ, Joseph JK, Kurapati SK. Digital dental photography. *Indian J Dent Res* [serial on the Internet]. 2018 Aug [cited 2020 Apr 7];29:507-12. Available from: <http://www.ijdr.in/text.asp?2018/29/4/507/239392>
8. Amhad I. Digital dental photography. Part 4: choosing a camera. *Br Dent J*. 2009;206(11):575-81.
9. Kohara EK, Abdala CG, Novaes TF, Braga MM, Haddad AE, Mendes FM. Is it feasible to use smartphone images to perform telediagnosis of different stages of occlusal caries lesions? *PLoS One* [serial on the Internet]. 2018 Sep;13(9):e0202116. Availabe from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0202116>
10. Ahmad I. Digital dental photography. Part 1: an overview. *Br Dent J*. 2009;206(8):403-7.
11. de Almeida GR, de LucasRezende LVM, da-Silva CQ, Almeida JCF. Remote diagnosis of traumatic dental injuries using digital photographs captured via a mobile phone. *Dent Traumatol*. 2017;33(5):350-7.

12. Signori C, Collares K, Cumerlato BFC, Correa BM, Opdam NJM, Cenci MS. Validation of assessment of intraoral digital photography for evaluation of dental restorations in clinical research. *J Dent*. 2018;71(1):54-60.
13. Tam WK, Lee HJ. Dental shade matching using a digital camera. *J Dent*. 2012; 40 Suppl 2:e3-10.
14. Sampaio CS, Atria PJ, Hirata R, Jorquera G. Variability of color matching with different digital photography techniques and a gray reference card. *J Prosthet Dent*. 2019;121(2):333-9.
15. Liu M, Zhang JD, Ye HQ, Zhao YJ, Zhao XB, Zhao WY, Liu YS, Zhou YS. Application and exploration of Smile Lite MDP portable photography system in aesthetic photography of anterior teeth. *Beijing DA Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2020;52(1):187-92.
16. Knezović Zlatarić D, editor. *Osnove estetike u dentalnoj medicini*. Zagreb: Hrvatska komora dentalne medicine; 2013.
17. Bailey A, Holloway A. *Sve o fotografiji u boji*. Zagreb: Mladost; 1979.
18. Munsell AH. *A grammar color*. New York: Van Nostrand Dreinhold, 1969.
19. Lee YK. Translucency of human teeth and dental restorative materials and its clinical relevance. *J Biomed Opt* [serial on the Internet]. 2015 Apr [cited 2020 Apr 10];20(4):045002 Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/Journal-of-Biomedical-Optics/volume-20/issue-04/045002/Translucency-of-human-teeth-and-dental-restorative-materials-and-its/10.1117/1.JBO.20.4.045002.full?SSO=1>
20. Chu SJ. Color. In: Gurel G (ed). *The science and art of porcelain laminate veneers*. Chicago: Quintessence, 2003. p. 158-206.
21. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent*. 2000;83(4):418-23.
22. Magne P, Belser U. *Adhezivno cementirani keramički nadomjesci u prednjoj denticiji: Biomimetski pristup*. Quintessence Publishing, 2002.
23. Pop-Ciutrial IS, Ghinea R, Colosi HA, Dudea D. Dentin translucency and color evaluation in human incisors, canines, and molars. *J Prosthet Dent*. 2016;115(4):475-81.

24. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent.* 2004;32(Suppl 1):3-12.
25. Paul S, Petar A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res.* 2002;81(8):578-82.
26. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review od clinical and research aspects. *J Den.* 2010;38(Suppl 2):e2-16.
27. Hedgecoe J. Sve o fotografiji i fotografiranju. Zagreb: Mladost; 1977.
28. Feng L, Mingming X, Tongfeng H. The History and Significance od Dental Photography. In: Feng L, editor. *Dental Digital Photography. From Dental Clinical Photography to Digital Smile Design.* Singapur: Springer; 2019. p. 1-18.
29. Maričić T. Osnove klasične fotografije [diplomski rad]. Osijek: Odjel za fiziku Sveučilište Josip Juraj Strossmayer u Osijeku; 2011.
30. Gregurović P. Usporedba klasične i digitalne fotografije [diplomski rad]. Zagreb: Grafički fakultet sveučilišta u Zagrebu; 2015.
31. Smokvina M. Od dagerotipije do digitalne fotografije. *Informatica museologica* [Internet]. 2000 [pristupljeno 01.06.2020.];31(3-4):137-149. Available from:<https://hrcak.srce.hr/142896>
32. Gernsheim H, Gernsheim A. Fotografija – sažeta historija. Beograd: Jugoslavija; 1973.
33. Košćević Ž. Fotografska slika. Zagreb: Školska knjiga; 2000.
34. Fizi M. Fotografija. Zagreb: Grafički zavod Hrvatske; 1982.
35. Žerjav D, editor. Osnove fotografije – foto priručnik za početnike u fotografiji. [monograph on the Internet]. Zagreb. 2009 [cited 2020 Apr 18]. Available from: http://davorzerjav.from.hr/wp-content/uploads/2015/10/osnove_fotografije_davor_zerjav.pdf
36. Bengel W. Basic components of photography. In: Bengel W, editor. *Mastering digital dental photography.* London: Quintessence Publishing Co; 2006.
37. Bengal W. Digital technique. In: Bengal W, editor. *Mastering digital dental photography.* London: Quintessence Publiching Co; 2006.

38. Feng L, Shan J, Mingming X. Devices and Equipment of the Dental Photography. In: Feng L. editor. Dental Digital Photography. From Dental Clinical Photography to Digital Smile Design. Singapur: Springer; 2019. p. 43-78.
39. Goldstein EC. Imaging in esthetic dentistry. London: Quintessence Publishing Co, 1997.
40. Gavrilov D, Obradović-Đuričić K. Fotografija u stomatologiji. Serbian Dental J. 2006; 53(4):253-60.
41. Crispin JB. Contemporary esthetic dentistry: Practice fundamentals. Tokyo: Quintessence Publishing Co, 1994.
42. Bengal W. Perioral and intraoral photography. In: Bengal W, editor. Mastering digital dental photography. London: Quintessence Publishing Co; 2006.
43. Ahmad I. Digital dental photography. Part 8: intra-oral set-ups. Br Dent J. 2009;207(4):151-7.
44. Bengal W. Portrait and profile photography. In: Bengal W, editor. Mastering digital dental photography. London: Quintessence Publishing Co; 2006.
45. Ahmad I. Digital dental photography. Part 7. extra-oral set up. Br Dent J. 2009; 207(3):103-10.
46. McKeown HF, Murray AM, Sandler PJ. How to avoid common errors in clinical photography. J Orthod. 2005;32(1):43-54.
47. Sandler J, Murray A. Clinical photographs-the gold standard. J Ortod. 2002;29(2):158-67.
48. Špalj S. i sur. Ortodontski priručnik. [monograph on the Internet]. Rijeka: Sveučilišta u Rijeci, Medicinski fakultet; 2010 [cited 2020 Aug 20]. Available from: https://bib.irb.hr/datoteka/591935.ORTODONTSKI_PRIRUNIK.pdf
49. Claman L, Patton D, Rashid R. Standardized portrait photography for dental patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1990;98(3):197-205.
50. Lundström F, Lundström A. Natural head position as a basis for cephalometric analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1992;101(3):244-7.

51. Anić Milošević S, Šlaj M, Lapter Varga M. Osnovni principi snimanja ekstraoralnih fotografija. *Acta Stomat Croat*. 2005;39(2):201-4.
52. Casaglia A, De Dominicis P, Arcuri L, Gargari M, Ottria L. Dental photography today. Part 1: Basic Concepts. *Oral Implantol (Rome)*. 2016;8(4):122-9.
53. Yao C, Wonik L, Ferretii GA, Slayton RL, Suchitra N. Agreement between photographic and clinical examinations in detecting developmental defects of enamel in infants. *J Public Health Dent*. 2013;73(3):204-9.
54. Boye U, Walsh T, Pretty IA, Tickle M. Comparison of photographic and visual assessment of occlusal careis with histology as the reference standard. *BMC Oral Health*. 2012;12:10.
55. Boye U, Foster GR, Pretty IA, Tickle M. The views of examiners on the use of intra-oral photographs to detect dental caries in epidemiological studies. *Community Dent Health*. 2013;30(1):34-8.
56. Boye U, Willasey A, Walsh T, Tickle M, Pretty IA. Compariosn of an intra-oral photographic caries assessment with an established visual caries assessment method for use in dental epidemiological studies of children. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2013;41(6):526-33.
57. Pinto GS, Goettems ML, Brancher LC, Silva FB, Boeira GF, Correa MB, Santos IS, Torriani DD, Demarco FF. Validation of the digital photographic assessment to diagnose traumatic dental injuries. *Dent Traumatol*. 2016;32(1):37-42.
58. Claman L, Patton D, Rashid R. Standardized portrait photography for dental patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990;98(3):197-205.
59. Stutts WF. Clinical photography in orthodontic practice. *Am J Orthod*. 1978;74(1):1-31.
60. Jerolimov V, Brkić H, editor. Vještačenje u stomatologiji. Zagreb: Stomatološki fakultet; Akademija medicinskih znanosti Hrvatske; 2005.
61. Hein S, Modrić D, Westland S, Tomeček M. Objective shade matching communication and reproduction by combinning dental photography and numeric shade quantification. *J Esthet Restor Dent*. 2020.1-11. <https://doi.org/10.1111/jerd.12641>

62. Hein S, Tapia J, Bazos P. eLABor aid: a new approach to digital shade management. *Int J Esthet Dent*. 2017;12(2):186-202.
63. Mahn E. Dental Photography. Part II Protocol for shade takeing and communication with the lab. *International dentistry – Australian edition*. 2013;8(2):36-44.
64. Underwood B., Birdsall J., Kay E. The use of a mobile app to motivate evidence-based oral hygiene behaviour. *Br Dent J*. 2015;219(4):E2. doi: 10.1038/sj.bdj.2015.660.
65. Saad AK, Hanan O. Teledentistry in practice: literature review. *Telemed J E Health*. 2013;19(7):565-7.
66. Irving M, Stewart R, Spallek H, Blinkhorn A. Using teledentistry in clinical practice as an enabler to improve access to clinical care: A qualitative systematic review. *J Telemed Telecare*. 2018;24(3):129-46.
67. Estai M, Kanagasingam Y, Huang B, Shiikha J, Kruger E, Bunt S, Tennat M. Comparison of a smartphone.based photographic method with a face-to-face caries assessment: A Mobile teledentistry model. *Telemed J E Health*. 2017;23(5):435-40.
68. Giacomini GO, Antonioli C, Tiburcio-Machado CS, Fontana MP. The use of smartphones in radiographic diagnosis: accuracy on the detection of marginal gaps. *Clin Oral Investig*. 2019;23(4):1993-6.
69. Stahl I, Dreyfuss D, Ofir D, Merom L, Raichel M, Hous N, Norman D, Haddad E. Reliability of smartphone-based teleradiology for evaluating thoracolumbal spine fractures. *Spine J*. 2017;17(2):161-7.
70. Sarode SC, Sarode, GS, Anand R, Patil S, Unadkt H. WhatsApp in an effective tool for obtaining second opinion in oral pathology practice. *J Oral Pathol Med*. 2017;46(7):513-9.
71. Favero L, Pavan L, Arreghini A. Communication through telemedicine: home teleassistance in orthodontics. *Eur J Paediatr Dent*. 2009;10(4):163-7.
72. Moylan HB, Carrico CK, Lindauer SJ, Tufekci E. Accuracy of a smartphone-based orthodontic treatment-monitoring applicatio: A pilot study. *Angle Orthod*. 2019;89(5):727-33.
73. Jampani ND, Nutalapati R, Dontula BS, Boyapati R. Application of teledentistry: a literauture review and update. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2011;1(2):37-44.

74. Daniel SJ, Wu L, Kumar S. Teledentistry: a systematic review of clinical outcomes, utilization and costs. *J Dent Hyg*. 2013;87(6):345-52.
75. Hotwani K, Sharma K, Hagpal D, Lamba G, Chaudhari P. Smartphones and tooth brushing: content analysis of the current available mobile health apps for motivation and training. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2020;21(1):103-8.
76. Bratthall D, Petersson GH, Cariogram – a multifactorial risk assessment model for a multifactorial disease. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2005;33(4):256-64.
77. Panchal V, Gurunathan D, Shanmugaavel AK. Smartphones application as an aid in determination of caries risk and prevention: A pilot study. *Eur J Dent*. 2017;11(4):469-74.
78. Al-Musawi A, Al-Sane M, Andersson L. Smartphone Apps an aid in the emergency management of avulsed teeth. *Dent Traumatol*. 2017;33(1):13-8.
79. Khatoon B, Hill K, Walmsley AD. Mobile learning in dentistry challenges and opportunities. *Br Dent J*. 2019;227(4):298-304.
80. Knezović Zlatarić D. Smile Lite MDP – mobilna dentalna fotografija. *Vjesnik dentalne medicine*. 2018;26(1):37-9.
81. Hardan LS. Mobile dental photography: a simple technique for documentation and communication. *Quintessence Int*. 2020;(6):510-8.
82. Hardan LS. Mobile dental photography (MDP): A new era in dental documentation. *IAJD*. 2017;8(3):115-8. Available at: <<http://ojs.usj.edu.lb/ojs/index.php/iajd/article/view/332>>. Date accessed: 13 Jun. 2020.
83. Bedić I. Goetheov Nauk o bojama- teorijska analiza [diplomski rad]. Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
84. Šentija J, editor. Veliki školski leksikon. Zagreb: Školska knjiga, Naklada Leksikon; 2003.
85. Brković N. Fizika 3. Zagreb: Luk; 2005.
86. Junqueira LC, Carneiro J. Osnove histologije. 1st ed. Zagreb: Školska knjiga, 2005.
87. Guyton AC, Hall JE. Medicinska fiziologija udžbenik. 11th ed. Zagreb: Medicinska naklada; 2006.

88. Chu SJ, Boja. In: Gürel G, editor. Znanje i vještina u izradi estetskih keramičkih ljuski. Zagreb: Media ogled d.o.o.; 2009. p.157-206.
89. Indow T., Kanazawa K. Multidimensional mapping of Munsell colors varying in hue, chroma and value. *J Exp Psychol.* 1960;59(5):330-6.
90. Wee AG. Description of color, color replication process and esthetics. In: Contemporary fixed prosthodontics. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2006. p.710-2.
91. CIE. Recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. Supplement No. 2. CIE Publication No. 15 (E-1.3.1), 1971. (TC-1.3). Paris: Bureau de la CIE; 1978. p.9-12.
92. Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color difference. *Color Res Appl* 1979;4(1):83-91.
93. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 1989;68(12):1760-4.
94. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater.* 1987;3(5):246-51.
95. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989;68(5):819-22.
96. Douglas RD, Brewer JD. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent.* 1998;79(3):254-60.
97. Ragain JC, Jr, Johnston WM. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Res Appl.* 2000; 25(4):278-85.
98. Samorodnitzky-Naveh GR, Grossman Y, Bachner YG, Levin L. Patients' self-perception of tooth shade in relation to professionally objective evaluation. *Quintessence Int.* 2010;41(5):e80-3.
99. Alshiddi IF, BinSaleh SM, Alhawas Y. Patient's Perception on the Esthetic Outcome of Anterior Fixed Prosthetic Treatment. *J Contemp Dent Pract.* 2015;16(11):845-9.

100. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent.* 2008;36(1):2-7.
101. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosth Dent.* 2002;87(2):149-52.
102. Dozic A, Kleverlaan CJ, Aartman IH, Feilzer AJ. Relation in color of three regions of vital human incisors. *Dent Mater.* 2004;20(9):832-8.
103. Rong Li, Xiao M, Liang S, Yue S, Tao J, Yining W. Optical properties of enamel and translucent composites by diffuse reflectance measurements. *J Dent.* 2012;40 Suppl 1:e40-7
104. Yang H, Zhang SX, Xie YB, Wu ZP, Zhu XF, Xu YB. A study on the colour of natural tooth and porcelain fused to metal crown. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* 2001;10(1):83-4.
105. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent.* 2000;83(4):418-23.
106. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: The science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23(5):467-79.
107. ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res.* 1995;74(1):374-80.
108. Oguro R, Nakajima M, Seki N, Sadr A, Tagami J, Sumi Y. The role of enamel thickness and refractive index on human tooth colour. *J Dent.* 2016;51(1):36-44.
109. Eimar H, Marelli B, Nazhat SN, Nader SA, Amin WA, Torres J, de Albuguerque Jr RF, Tamimi F. The role of enamel crystallography on tooth shade. *J Dent.* 2011; 39 Suppl 3:e3-10.
110. Kedici PS, Atsú S, Gökdemir K, Sarikaya Y, Gürbüz F. Micrometric measurements by scanning electron microscope (SEM) for dental age estimation in adults. *J Forensic Odontostomatol.* 2000;18(1):22-6.
111. Grine FE. Enamel thickness of deciduous and permanent molars in modern Homo sapiens. *J Phys Anthropol.* 2005;126(1):14-31.
112. Greenwall L, editor. Tehnike izbjeljivanja u dentalnoj medicini. 1st ed. Zagreb: Udruga Arija. 2011.

113. Šutalo J, editor. Patologija i terapija tvrdih zubnih tkiva. 1st ed. Zagreb: Naklada Zadro; 1994.
114. Spitzer D, ten Bosch JJ. The total luminescence of bovine and human dental enamel. *Calcified Tissue Research* 1976;20(1):201-208.
115. Gomez-Polo C, Montero J, Gomez-Polo M, et al. Natural tooth color estimation based on age and gender. *J Prosthodont* 2017;26(2):107-14.
116. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra R, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent*. 2002;87(2):149-52.
117. Hassel AJ, Johanning M, Grill S, Schöder J., Wahl HW, Corcodel N, Klotz AL, Rammelsberg P, Zenthöfer A. Changes of tooth color in the middle and old age: A longitudinal study over a decade. *J Esthet Restor Dent*. 2017;29(6):459-63.
118. Gomez Polo C, Gomez Polo M, Montero J, et al. Correlation of natural tooth colour with aging in the Spanish population. *Int Dent J*. 2015;65(5):227-34.
119. Šegović S. Promjene i bolesti tvrdih zubnih tkiva i endodonta u osoba starije dobi. In: Čatović A, editor. *Gerontostomatologija*. Zagreb: Medicinska naklada. 2010;135-46.
120. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent*. 1986;56(1):35-40.
121. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent*. 2008;36 Suppl 1:s2-7.
122. Chu S, Devigus A, Paravina RD, Mieleszko A. *Fundamentals of Color*. Quintessence: Chichago, 2010.
123. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The threedimensional nature of color. *J Prosthet Dent*. 1973;29(4):416-24.
124. Corcodel N, Rammelsberg P, Moldovan O, Dreyhaupt J, Hassel AJ. Effect of external light conditions during matching of tooth color: an intraindividual compariosn. *Int J Prosthodont*. 2009;22(1):75-7.
125. Nagakawa Y. Color analysis of shade guides. *Shikai Tenbo*. 1976;48(1):1-9.

126. Preston JD, Bergen SF. Color science and dental art: A self-teaching program. St Louis, MO: Mosby, 1980.
127. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. Quintessence Int. 1985;16(1):47-58.
128. Milardović Ortolan S, Bergman L, Viskić J, Mehulić K, Salarić I. Određivanje boje zubi u okviru fiksno protetske terapije. Sonda. 2012; 23:84-7.
129. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. J Prosthet Dent. 2003;89(1):50-3.
130. Cal E, Sonugelen M, Guneri P, Kesercioglu A, Kose T. Application of a digital technique in evaluating the reliability of shade guides. J Oral Rehabil. 2004;31(5):483-91.
131. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. 4th ed. St Louis: Mosby; 2006.
132. Meurman JH, Murtomaa H, Le Bell Y, Scully C, Autti H. Dentalni Mamut. Osnove kliničke dentalne medicine. Zagreb: Hrvatska komora dentalne medicine; 2018.
133. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, et al. Does gender and experience influence shade matching quality? J Dent. 2009;37(1):40-4.
134. Jaju RA, Nagai S, Karimbux N, et al. Evaluating tooth color matching ability of dental students. J Dent Educ. 2010;74(9):1002-10.
135. Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. Br Dent J. 2005;199(1):43-9.
136. Olms C, Jakstat H. Learning shade differentiation using toothguide trainer and toothguide training box: a longitudinal study with dental students. J Dent Educ. 2015;80(2):183-90.
137. Ristic I, Stankovic S, Paravina RD. Influence of color education and training on shade matching skills. J Esthet Restor Dent. 2016;28(5):287-94.
138. Huang PY, Masri R., Romberg E, Driscoll CF. The effect of various disinfectants on dental shade guides. J Prosthet Dent. 2014;112(3):613-7.

139. VITA Zahnfabrik [Internet]. Bad Säckingen: H. Rauter GmbH & Co. KG; c2020 [cited 2020 Apr 20]. Available from: <https://www.vita-zahnfabrik.com/en/VITA-shade-guides31233,98477.html>)
140. Gomez-Polo C, Gomez-Polo M, Celemin Vinuela A, Martinez Vazquez de Parga JA. A clinical study relating CIELCH coordinates to the color dimensions of the 3D-Master System in a Spanish population. *J Prosthet Dent*. 2015;113(3):185-90.
141. Pitel ML. Optimizing Your Shade-Matching Success: Tips, Tools, and Clinical Techniques. *Dent Today*. 2015;34(9):118-21.
142. Yuan JC, Brewer JD, Monaco Jr. EA, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent*. 2007;98(2):110-9.
143. VITA Zahnfabrik [homepage on Internet]. Bad Säckingen: H. Rauter GmbH & Co. KG; c2020 [cited 2020 Apr 20]. Available from: <https://www.vita-zahnfabrik.com/en/VITA-Bleachedguide-3D-MASTER-26260,27568.html>)
144. Paravina RD. New shade guide for tooth whitening monitoring: visualassessment. *J.Prosthet.Dent*. 2008;99(3):178-84.
145. Dozić A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont*. 2007;16(2):93-100.
146. Lehmann KM, Igiel C, Schmidtmann I, Scheller H. Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent*. 2010;38(1):65-70.
147. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res*. 2002;81(8):578-8.
148. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Dental color standards: Shade tab arrangement. *J Esthet Restor Dent*. 2001;13(4):254-63.
149. Olms C, Setz JM. The repeatability of digital shade measurement – a clinical study. *Clin Oral Investig*. 2013;17(4):1161-6.
150. Qianqian P, Wstland S. Tooth color and whitening – digital technologies. *J Dent*. 2018;74 Suppl 1:S42-6.

151. Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br Dent J.* 2005;199(1):43-9.
152. Knösel M, Attin R, Jung K, Brunner E, Kubein-Meesenburg D, Attin T. Digital image color analysis compared to direct dental CIE colorimeter assessment under different ambient conditions. *Am J Dent.* 2009; 22(1):67-72.
153. Chu SJ. Precision shade technology: contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent* 2002;14(1):79-83.
154. Da Silva JD. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent.* 2008;99(5):36.-8.
155. Baltzer A, Jinoian VK. The determination of the tooth colors. *Quintessenz Zahntech* 2004;30(4):726-40.
156. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrumental shade matching. *J Prosthet Dent.* 1998;80(6):642-8.
157. Seghi RR, Johnson WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res.* 1989;68(12):1755-9.
158. Ishikawa-Nagai S, Sato R, Furukawa K, Ishibashi K. Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 1. Application of CCM to the opaque layer. *Int J Prosthodont.* 1992;5(6):495–502.
159. Bolt RA, ten Bosch JJ, Coops JC. Influence of window size in small-window color measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol.* 1994;39(7):1133-42.
160. Chang JY, Chen WC, Huang TK, Wang JC, Fu PS, Chen JH, Hung CC. Evaluating the accuracy of tooth color measurement by combining the Munsell color system and dental colorimeter. *Kaohsiung J Med Sci.* 2012;28(9):490-4.
161. 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.
162. Kihara H. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry. A literature review. *J Prosthodont Res.* 2020;64(2):109-13.

163. Mangano F, Gandofi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):149.
164. Culic C, Varvara M, Tatar G, Simu MR, Rica R, Mesaros A, Buduru S, Gasparik C, Culic B. In vivo evaluation of teeth shade matching capabilities of a dental intraoral scanner. *Curr Health Sci J*. 2018;44(4):337-341.
165. Yoon HI, Bae JW, Park JM, Chun YS, Kim MA, Kim M. A Study on Possibility of Clinical Application for Color Measurements of Shade Guides Using an Intraoral Digital Scanner. *J Prosthodont*. 2018;27(7):670-5.
166. Gotfredsen K. Gram M, Ben Brahem E, Hosseini M, Petkov M, Sitorovic M. Effectiveness of shade measurements using a scanning and computer software system: a pilot study. *Int J Dent Health*. 2015;1(2):008.
167. 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.
168. Mehl A, Bosch G, Fischer C, Ender A. In-vivo tooth-color measurement with a new 3D intraoral scanning system in comparison to digital. 2017;20(4):343-61.
169. Rutkunas V, Dirse J, Bilius V. Accuracy of an intraoral digital scanner in tooth color determination. *J Prosthet Dent*. 2020;123(2):322-29.
170. Reyes J, Acosta P, Ventura D. Repeatability of the human eye compared to an intraoral scanner in dental shade matching. *Heliyon* [serial on the Internet]. 2019 Jul [cited 2020 Oct 20];5(7): [about 6 p]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019357603>
171. Chu STJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent Res*. 2010;38(1):2-16.
172. 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 Periodont Rest*. 2004;24(3):222-31.

173. Kielbassa AM, Beheim-Schwarzbach NJ, Neumann K., 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.
174. Knezović Zlatarić D, Illeš D, Alajbeg IŽ, Žagar M. In vivo i in vitro procjena ponovljivosti i preciznosti uređaja za određivanje boje VITA Easyshade® Advance 4.0. *Acta Stomatol Croat.* 2015;49(2):112-8.
175. VITA North America [homepage on the Internet]. VITA Easyshade ® V Operating instructions (cited 2020. April 19.). Available from: http://vitanorthamerica.com/wp-content/uploads/2015/04/VITA-Easyshade-VOperating-Instructions-10180E_-2.pdf.
176. Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA Jr, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent.* 2007;98(2):110-9.
177. Meireless SS, Demarco FF, Dos SI, 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.
178. Paravina RD, Majkic G, Stalker JR, Kiat-Amnuay S, Chen JW. Development of a model shade guide for primary teeth. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2008;9(1):74-8.
179. Baumann MA, Schifferdecker B. Color determination in dental ceramics. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 1994;104(4):423-29.
180. Celik G, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Ozturk O, Goktug G. The effect of repeated firings on the color of an all-ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent.* 2008;99(3):203-8.
181. Ozturk O, Uludag B, Usumez A., Sahin V, Celik G. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent.* 2008;100(2):99-106.
182. Ergücü Z, Türkün LS, Aladag A. Color stability of nanocomposites polished with one-step systems. *Oper Dent.* 2008;33(4):413-20.
183. Lehmann KM, Igiel C, Schmidtman I, Scheller H. Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent.* 2010;38(1):65-70.

184. 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.
185. Dozic A, Kharbanda AK, Kamell H, Brewer JD. European dental students' opinions about visual and digital tooth color determination systems. *J Dent Res*. 2011;39S:23-8.
186. Burki Z, Watkins S, Wilson R, Fenlon M. A randomised controlled trial to investigate the effects of dehydration on tooth colour. *J Dent*. 2013;41(3):250-7.
187. Lazar R, Culic B, Gasparik C, Lazar C, Dudea D. The accuracy of dental shade matching using cross-polarization photography. *Int J Comput Dent*. 2019;22(4):343-51.
188. He WH, Park CJ, Byun S, Tan D, Lin CY, Ralph WC, Bleak J, Chee W. Evaluating the relationship between tooth color and enamel thickness, using twin flash photography, cross-polarization photography and spectrophotometer. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(1):91-101.
189. Hein S, Zangl M. The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of a five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth. *Int J Esthet Dent*. 2016;11(2):246-59.
190. Gurrea J, Gurrea M, Bruguera A, Sampaio CS, Janal M, Bonfante E, Coelho PG, Hirata R. Evaluation of dental shade guide variability using cross-polarized photography. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2016;36(5):e76-81.
191. Sampaio CS, Gurrea J, Gurrea M, Bruguera A, Atria PJ, Janal M., Bonfante EA, Coelho PG, Hirata R. Dental shade guide variability for hues B, C and D using cross-polarized photography. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2018;38(Suppl):s113-8.
192. Antar F, Zebouni E. Comparative review of DSLR cameras and smartphones in dental photography: indications and limitations. *International Arab Journal of Dentistry*. [serial on the Internet]. 2018. Nov [cited 2020. Oct 25];9(3):[about 20 p]. Available from: <http://ojs.usj.edu.lb/ojs/index.php/iajd/article/view/363>
193. Tam WK, Lee HJ. Accurate shade image matching by using a smartphone camera. *J Prosthodont Res*. 2017;61(2):168-76.
194. Photography Life [homepage on the Internet]. c2020 [cited 2020 Nov 17]. Available from: <https://photographylife.com/raw-vs-jpeg>

195. Corcodel N, Helling S, Rammelsberg P, Hassel AJ. Metameric effect between natural teeth and the shade tabs of a shade guide. *Eur J Oral Sci.* 2010;118(3):311-6.
196. Park JH, Lee YK, Lim BS. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. *J Prosthet Dent.* 2006;96(6):402-11.
197. Cha HS, Lee YK. Difference in illuminant-dependent color changes of shade guide tabs by the shade designation relative to three illuminants. *Am J Dent.* 2009.;22(6):350-6.
198. Master Phone Photography [homepage on the Internet]. c2020 [cited 2020. Nov 17]. Available from: <https://www.masterphonephotography.com/how-do-phone-cameras-work/>
199. Medium [homepage on the Internet]. c2020 [cited 2020 Nov 17.]. Available from: <https://medium.com/@nagamallinagavaraprasad/does-smartphone-having-same-camera-sensor-have-different-image-quality-6a2470533d9e>
200. Lazar R, Dudea D, Gasparik C, Lazar D, Jula C, Culic B. Assessment of a new photography system used in dentistry. *Optoelectrom Adv Mat.* 2016;10(5):426-32.
201. Anand D, Surendra GP, Anand D, Sundar Ma, Sharma R, Gaurav A. Shade Selection: Spectrophotometer vs Digital camera - A comparative in-vitro study. *IPP Ann Prosthodont and Restor Dent.* 2016;2(1):73-8.

Mirko Soldo rođen je 9. siječnja 1987. u Zagrebu, gdje završava Osnovnu školu. Godine 2001. upisuje I. gimnaziju u Zagrebu, koju završava 2005. s odličnim uspjehom. Iste godine upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu na kojem je diplomirao 2011. godine. Tijekom studija obavljao je dužnost demonstratora na Katedri za histologiju i embriologiju, Katedri za fiziologiju, Zavodu za mobilnu protetiku, Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju te Zavodu za fiksnu protetiku. Dobitnik je Rektorove nagrade za rad „Rubno propuštanje siloranskih i metakrilatnih kompozitnih ispuna V razreda“ u akademskoj godini 2009./2010. i posebne Rektorove nagrade za rad u listu studenata Stomatološkog fakulteta „Sonda“ u akademskoj godini 2010./2011. Dobitnik je Colgateove nagrade za najbolji studentski znanstveni rad s temom „Uloga edukacije i motivacije u održavanju oralne higijene adolescenata, Stipendije Sveučilišta u Zagrebu 2009. i 2010. godine te Stipendije Grada Zagreba i Dekanove nagrade u akademskoj godini 2010./2011. Nakon završetka obaveznog pripravničkog staža polaže državni ispit 2012. godine. Od 2014.-2018. godine radi u Medicinskoj školi u Osijeku, gdje drži nastavu iz stručnih predmeta dentalnim tehničarima i dentalnim asistentima. Stalno je zaposlen u Domu zdravlja Osijek od 2014. godine, koji ga upućuje na specijalizaciju iz ortodoncije. Specijalizaciju iz ortodoncije započinje 2018. godine na Klinici za stomatologiju u Zagrebu. Aktivno se služi engleskim i njemačkim jezikom. Član je Hrvatskog ortodontskog društva. Autor je nekoliko znanstvenih i stručnih radova te redovito sudjeluje na znanstvenim i stručnim skupovima u Hrvatskoj i inozemstvu.

Publikacije:

1. **Soldo M**, Matijević J, Malčić Ivanišević A, Čuković-Bagić I, Marks L, Nikolov Borić D, Jukić Krmek S. Impact of oral hygiene instructions on plaque index in adolescents. Cent Eur J Public Health. 2020;28(2):103-7.
2. **Soldo M**, Knezović Zlatarić D. Digitalna procjena triju parametara boje na gornjem desnom središnjem sjekutiću s obzirom na spol ispitanika. Abstracts of the 4th International Congress of the Department of Endodontics and Restorative Dentistry, School of Dental Medicine, University of Zagreb in coorganizing the Croatian Society for Minimal Interventional Dental Medicine CMA Acta Stomatol Croat. 2020;54(4):444-9.

3. **Soldo M**, Illeš D, Ćelić R, Knezović Zlatarić D. Procjena parametara boje gornjih desnih središnjih sjekutića uporabom spektrofotometra i RAW fotografija s mobilnog uređaja u različitim uvjetima osvjetljenja. *Acta Stomatol Croat.* 2020;54(4):353-62.
4. **Soldo M**, Knezović Zlatarić D. Dentalna fotografija pametnim telefonom: istina ili mit? *Vjesnik dentalne medicine.* 2020;28(4):26-9.
5. Vuletić M, Škaričić J, **Soldo M**, Trampuš Z, Čuković-Bagić I, Jurić H. Prevalencija i uzroci trauma zuba i mekih tkiva u školske djece u Zagrebu, Hrvatska. *Paediatrica Croatica.* 2014;58(3):171-5.
6. **Soldo M**, Simeon P, Matijević J, Glavina D, Illeš D, Jukić Krmek S. Marginal leakage of class V cavities restored with silorane-based and methacrylate-based resin systems. *Dent Mater J.* 2013;32(5):853-8.
7. **Soldo M**, Marinka-Stipetić M. Umjetna slina. *Vjesnik dentalne medicine.* 2013;21(1):26-30.
8. **Soldo M**, Strujić M. Anomalije klase II (dijagnostika i terapija). Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2013;14(25):45-8.
9. **Soldo M.**, Marinka-Stipetić M. Suhoća usta: uzroci i liječenje. *Vjesnik dentalne medicine.* 2012;20(3):8-12.
10. **Soldo M**, Knezović Zlatarić D. Postupak izbjeljivanja zubi u svakodnevnoj stomatološkoj praksi. Knjiga sažetaka 7. Hrvatskog međunarodnog Quintessence kongresa. Zagreb, Hrvatska. 26.-27.10.2012.
11. **Soldo M**, Žagar M, Knezović Zlatarić D. Rekonstrukcija IV razreda gornjeg lijevog središnjeg sjekutića tehnikom silikonskog ključa. Knjiga sažetaka Aesthetic dental moment. Zadar, Hrvatska. 4.-6.5.2012.
12. **Soldo M**, Žagar M, Salarić I, Knezović Zlatarić D. Prikaz postupka direktnog zatvaranja dijastema wax up i kompozitnom mock-up metodom. Knjiga sažetaka Aesthetic dental moment Zadar, Hrvatska. 4.-6.5.2012.
13. **Soldo M**, Matijević J, Simeon P, Jukić Krmek S. The role of oral hygiene education and motivation of adolescents. Book of abstracts of the 45th Meeting of the CED-IADR with the Scandinavian Division. Budapest, Hungary. 31.8.-3.9.2011.
14. **Soldo M**, Matijević J, Jukić Krmek S. Restauracije V razreda siloranskim kompozitnih materijalom. *Vjesnik dentalne medicine.* 2011;18(4):8-10.