

Digitalna spektrofotometrijska procjena boje gornjih i donjih prednjih prirodnih zuba

Ćelić, Gracia

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Dental Medicine and Health Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet za dentalnu medicinu i zdravstvo Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:243:471042>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Dental Medicine and Health Osijek
Repository](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ZA DENTALNU MEDICINU I ZDRAVSTVO
OSIJEK**

Integrirani preddiplomski i diplomski studij Dentalna medicina

Gracia Ćelić

**DIGITALNA
SPEKTROFOTOMETRIJSKA
PROCJENA BOJE GORNJIH I DONJIH
PREDNJIH PRIRODNIH ZUBA**

Diplomski rad

Osijek, 2022.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ZA DENTALNU MEDICINU I ZDRAVSTVO
OSIJEK

Integrirani preddiplomski i diplomski studij Dentalna medicina

Gracia Ćelić

DIGITALNA
SPEKTROFOTOMETRIJSKA
PROCJENA BOJE GORNJIH I DONJIH
PREDNJIH PRIRODNIH ZUBA

Diplomski rad

Osijek, 2022.

Rad je ostvaren na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet za dentalnu medicinu i zdravstvo Osijek, Integrirani preddiplomski i diplomski studij Dentalne medicine.

Mentorica rada: Prof. prim. dr. sc. Daniela Kovačević Pavičić, dr. med. dent.

Komentorica rada: Martina Juzbašić, dr. med. dent.

Rad sadrži: 40 stranica, 4 tablice i 15 slika

Znanstveno područje: Biomedicina i zdravstvo

Znanstveno polje: Dentalna medicina

Znanstvena grana: Protetika dentalne medicine

Zahvaljujem svojoj mentorici prof.prim.dr.sc. Danieli Kovačević Pavičić, dr.med.dent. i komentorici Martini Juzbašić, dr.med. dent. na savjetima i pomoći prilikom izrade diplomskoga rada.

Mojim roditeljima i sestri, hvala vam na bezuvjetnoj podršci, savjetima i ljubavi.

Hvala svim mojim prijateljima koji su teške dane uvijek činili podnošljivijima.

I mom didi. Hvala ti što si uvijek najviše vjerovao u mene. Znam da bi ti bio najsretniji što smo napokon stigli do kraja. Fališ mi.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Percepcija boje.....	1
1.2. Karakterisike boje.....	2
1.3. Boja zuba.....	6
1.3.1. Boja u dentalnoj medicine	7
1.3.2. Upute za odabir boje	8
1.4. Postupci određivanja boje	10
1.4.1. Klasično određivanje boje	11
1.4.2. Digitalno određivanje boje	15
2. HIPOTEZA.....	17
3. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	18
4. ISPITANICI I METODE	19
4.1. Ustroj studije	19
4.2. Ispitanici.....	19
4.3. Metode	19
4.4. Statističke metode.....	21
5. REZULTATI	22
6.RASPRAVA.....	29
7. ZAKLJUČAK.....	34
8. SAŽETAK.....	35
9. SUMMARY.....	36
10. LITERATURA	37
11. ŽIVOTOPIS.....	40

POPIS KRATICA

CIE- Međunarodna komisija za osvjetljenje

1. UVOD

Boja je svojstvo svjetlosti. Predmeti nemaju svoju boju, oni samo reflektiraju određenu valnu duljinu iz spektra boja. Riječ je o kompleksnom i subjektivnom psihofizičkom fenomenu koji se može percipirati na različite načine. Izravno ovisi o objektu, izvoru osvjetljenja i promatraču (1, 2). U različitim područjima znanosti postoje tri različita i uobičajeno korištena izraza boje. U području kemije, boja se koristi kao generički naziv za boje i pigmente. U fizici se koristi za označavanje optičkih pojava s mjerenjem u smislu relevantnih optičkih svojstava objekta. U znanostima o životu, kao što su fiziologija i psihologija, pojam boje povezuje se sa ljudskim vizualnim procesom i osjetom u svijesti čovjeka kao optičkog promatrača (3).

Kombinirani intenziteti valnih duljina prisutni u snopu vidljive svjetlosti određuju svojstvo koje se naziva boja. Vidljiva (bijela) svjetlost je oblik elektromagnetskog zračenja u rasponu valnih duljina od približno 400 do 700 nm koju ljudsko oko može detektirati, pri čemu različite valne duljine raspoznaje kao različite boje (2, 4, 5). Elektromagnetski valovi su posvuda, a svjetlost je samo mali dio njih. Ona je u osnovi sačinjena od fotona i uglavnom se kreće poput vala. Ljudsko oko ne posjeduje mogućnost percepcije radio, mikrovalnih, infracrvenih, ultraljubičastih, rendgenskih i gama zraka koje skupa čine „nevidljivi“ spektar. Vidljivi i nevidljivi spektar zajedno čine elektromagnetski spektar. Svjetlost zapravo nije bijela već je njezina bijela boja koju percipira ljudsko oko kombinacija svih duginih boja: crvene, narančaste, žute, zelene, svijetloplave, tamnoplave i ljubičaste. Kada bijela svjetlost prođe kroz kristalnu prizmu, kao što je to opisao Isaac Newton još davne 1676.godine, ona se savija pri čemu svaka valna duljina mijenja smjer za različit iznos čime postaju vidljive pojedinačne boje vidljivoga spektra. Svjetlosni val može se reflektirati, apsorbirati ili prenijeti. Ako se sva svjetlost reflektira, objekt se čini bijelim. Ako se svjetlost u potpunosti apsorbira, objekt se čini crnim (2, 6).

1.1. Percepcija boje

Svjetlost predmeta koji upada u oko usmjerava se na mrežnicu pomoću leće i rožnice i pretvara se u živčane impulse koji se prenose u moždanu koru. Količinu svjetlosti koja ulazi u oko kontrolira šarenica koja se širi ili sužava ovisno o razini osvjetljenja (7). Retina se sastoji od 2 vrste stanica: štapića i čunjića. Čunjići su stanice odgovorne za vid u boji. U oku nalazimo 6 do 7 milijuna ove

vrste stanice koje oku osiguravaju osjetljivost na boju. Mogu se podijeliti na: „crvene“, „zelene“ i „plave“ čunjiće. Štapićaste stanice su jednobojne i odgovorne su za noćni vid. Brojnije su od čunjića (oko 120 milijuna), osjetljive su na svjetlost te su izrazito učinkoviti fotoreceptori (3). Područje oko fovee centralis posjeduje mješavinu senzora odgovornih za različitu percepciju boja među promatračima s normalnim vidom boja. Točnost percepcije boja ovisi o području retinalnog polja stimuliranog svjetlošću. Pri jakom osvjetljenju zjenica se sužava, dok se pri slabijoj svjetlosti širi i stimulira manje precizne senzore. Kao regulator promjera zjenice, intenzitet svjetlosti ključan je čimbenik u percepciji boja i usklađivanju nijansi. Na ljudsku percepciju boja i vidnu oštrinu mogu utjecati starenje, kronične bolesti, glaukom i lijekovi poput oralnih kontraceptiva, ibuprofena, antiepileptika, aspirina, antibiotika i lidokaina (8).

Brojni autori izvještavaju o tradicionalnom vjerovanju da žene bolje od muškaraca percipiraju boje, ali su prisutni i dijametralno suprotni i neutralni stavovi o ovoj temi (9). Nedosljedni rezultati istraživanja pokazali su dokaze da je ta tvrdnja i ispravna i pogrešna. Protivnici ovog uvjerenja nazivali su ga „znanstvenom“ fantastikom. Ova tvrdnja je svakako istinita ukoliko se uspoređuju svi muškarci i sve žene jer su studije pokazale da 8% muškaraca i svega 0.5% žena ne razlikuje boje (10). Kada je procjena boje i dijagnostički test proveden na 150 muškaraca bez problema u razlikovanju boja i isto toliko ženskih ispitanika, nije zabilježena značajna razlika u odnosu na spol (10).

1.2. Karakteristike boje

U svrhu dobrog razumijevanja boje nužno je poznavati njezine dimenzije, odnosno svojstva od kojih se svaka boja sastoji. Početkom 20-tog stoljeća profesor Albert Munsell definirao je tri osnovna svojstva boje: stupanj zasićenosti (engl. *chroma*), svjetlinu (engl. *value*) i nijansu (engl. *hue*) (11). Nijansu je definirao kao osnovni ton boje po kojem razlikujemo crvenu od zelene, plave, žute i tako dalje. Kao glavne nijanse navodi crvenu, žutu, zelenu, plavu i ljubičastu.



Slika 1. Glavne nijanse boje (izvorna slika autora)

Susjedne boje u ovom nizu mogu se miješati kako bi se dobila kontinuirana varijacija od jedne boje do druge. Navedeni niz boja može se poredati u krug jer se uvijek vraća na početnu točku. Nakon što je umetnuo pet srednjih nijansi za ukupno njih deset, upotrijebio je inicijale kao simbole za označavanje pojedinog sustava nijansi (R-red, YR-yellow-red, Y-yellow, GY-green-yellow, G-green, BG-blue-green, B-blue, PB-purple-blue, P-purple i RP-red-purple). Krug nijansi podijelen je u 100 dijelova s nultom točkom na početku crvenog spektra (2, 12).

Stupanj zasićenosti ili kromatografska vrijednost definirana je kao intenzitet ili zasićenost tonom boje. Upravo ona spaja sve tri dimenzije boje i definira ih kao intenzitet tona na određenoj svjetlini. Boje niske zasićenosti opisao je kao slabo kromatične, dok su boje visoke zasićenosti definirane kao umjereno ili jako kromatične. Svjetlinu boje interpretirao je kao svjetliju ili tamniju nijansu, a njezina ljestvica vrijednosti kreće se od 0 za čistu crnu boju do 100 za čistu bijelu.



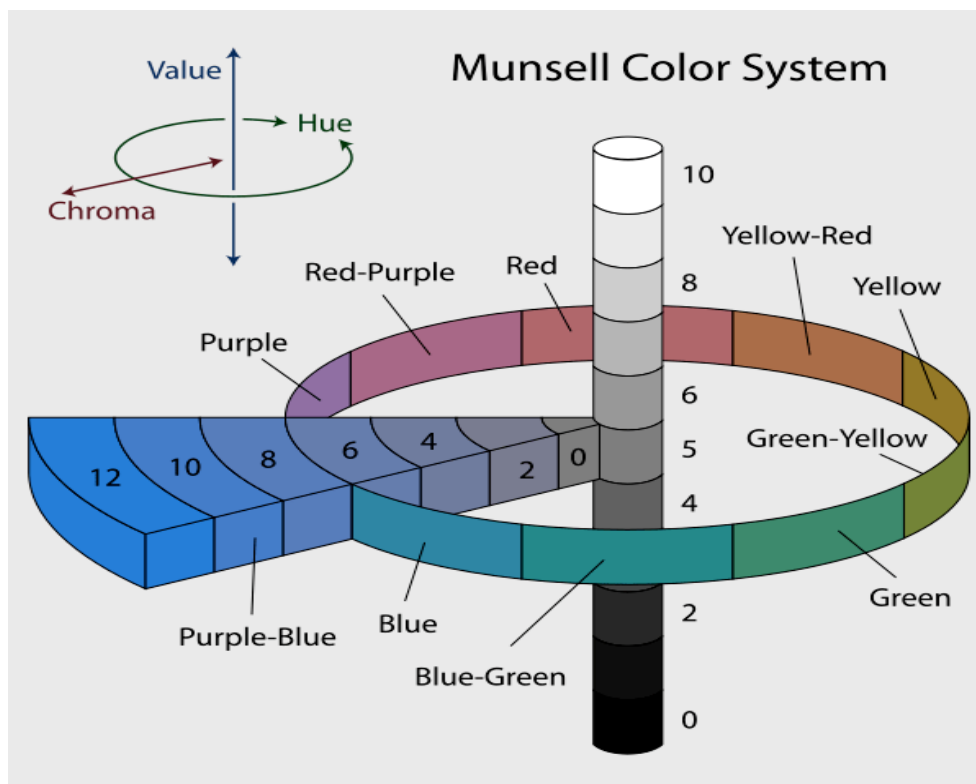
Slika 2. Ljestvica svjetline boje (izvorna slika autora)

Bijela, crna i siva su akromatske boje i ne posjeduju nijanse (2, 12).

Općenito razlikujemo dvije skupine boja: aditivne i suptraktivne. Aditivne boje su boje dobivene emitiranom svjetlošću i povezane su s televizijskim i računalnim zaslonima. Dijelimo ih u dvije skupine: primarne i sekundarne. Primarne aditivne boje su crvena, plava i zelena, a njihovim miješanjem nastaju sve boje percipirane u oku promatrača (12, 13). Kombiniranjem aditivnih primarnih boja nastaje bijela boja. Suptraktivne boje povezane su s reflektiranom svjetlošću i

koriste se u pigmentima za izradu boja, tinte, tkanina, itd. Primarne suptraktivne boje su crvena, žuta i plava, a sekundarne zelena, ljubičasta i narančasta. Miješanjem primarnih suptraktivnih boja nastaje crna (12).

Navedene Munsellove karakteristike boje (nijansa, zasićenost i kromatičnost) mogu se mijenjati neovisno jedna o drugoj. Zbog toga se sve boje na temelju svoje tri osnovne karakteristike mogu rasporediti u trodimenzionalnom prostoru. Neutralne boje postavljene su duž okomite linije, odnosno neutralne osi, s crnom na dnu i bijelom na vrhu. Sve sive boje na ovoj osi raspoređene su između crne i bijele. Nijanse su prikazane pod različitim kutovima u odnosu na neutralnu os, dok je kromatografska vrijednost okomita na os i raste prema van. Ovaj trodimenzionalni raspored boja naziva se Munsellov prostor boja. Spomenuti sustav kasnije je ažuriran kako bi se stvorio Munsell Renotation System u kojem je svaka boja izražena kao kombinacija slova/brojeva u smislu nijanse, svjetline i kromatografske vrijednosti. Sve boje leže unutar određenog područja Munsellovog prostora boja koje se naziva „Munsellova čvrsta boja“. Nijansa je ograničena na jedan okret oko kruga. Ljestvica svjetline ograničena je na donjem dijelu čistom crnom, koja je tamna koliko boja može biti, a na vrhu čistom bijelom, koja je svijetla koliko boja može biti. Za određenu svjetlinu postoji ograničenje kromatografske vrijednosti. Munsellov sustav poretka boje (engl. *Munsell Color*) primjenjiv je na sve moguće boje (12).



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC-ND](#)

Slika 3: Munsellov sustav poretka boje (CC BY-NC-ND)

1970-tih godina Međunarodna komisija za osvjetljenje ili CIE definirala je L^*a^*b prostor boja koji leži na tri koordinate, a utemeljen je na trodimenzionalnoj teoriji percepcije boja. Ova teorija kaže da oko posjeduje receptore za tri osnovne boje: crvenu, zelenu i plavu. Sve ostale boje vide se kao mješavina ovih primarnih boja kao što je prethodno spomenuto. Prostor boja L^*a^*b (ili CIELAB) je trenutno jedan od najpopularniji prostora za određivanje boje objekta i široko se koristi u gotovo svim poljima. U ovom prostoru L^* označava svjetlinu, leži na y-osi i kreće se u rasponu od 0 (crno) do 100 (bijelo). a^* i b^* vrijednosti su koordinate kromatičnosti. a^* vrijednost leži na x-osi, a interpretira se na sljedeći način: $+a^*$ je crveni smjer, a $-a^*$ zeleni smjer. b^* vrijednost leži na z-osi, a interpretira se: $+b^*$ žuti smjer i $-b^*$ plavi smjer. Središte je akromatsko; kako se vrijednosti a^* i b^* povećavaju i točka se pomiče iz središta, zasićenost ili kromatografska vrijednost boje se povećava (12, 14).

Druga paradigma prostora boja, prostor boja L^*C^*h , koristi isti dijagram kao i prostor boja $L^*a^*b^*$, ali koristi cilindrične koordinate umjesto pravokutnih. U ovom prostoru boja, L^* označava svjetlinu, C^* označava kromatografsku vrijednost, a h kut nijanse. Vrijednost C^* je 0 u središtu i raste ovisno o udaljenosti od središta. Kut nijanse h definiran je kao početak na osi $+a^*$ i izražava se u stupnjevima: 0 je $+a^*$ (crveno), 90 je $+b^*$ (žuto), 180 je $-a^*$ (zeleno) i 270 je $-b^*$ (plavo) (12, 14).

1.3. Boja zuba

Boja zuba vrlo je važna tema u današnje moderno doba s obzirom na sve veći naglasak na važnost estetike osmijeha, kako za doktore dentalne medicine kojima je u cilju odabrati pravu nijansu zuba u svrhu estetske nadoknade, tako i za pacijente i potrošače koji žele poboljšati svoj osmijeh. Boja zuba je pod utjecajem kombinacije intrinzičnih faktora i prisutnosti ekstrinzičnih obojenja koja se mogu stvoriti na njihovoj površini pod utjecajem različitih faktora. Rasipanje svjetlosti i apsorpcija unutar cakline i dentina odgovorne su za intrinzičnu boju zuba. Caklina je relativno prozirna, pa svojstva dentina mogu igrati važnu ulogu u određivanju ukupne boje zuba. Vanjska obojenja obično se stvaraju u područjima denticije koja su slabije dostupna tijekom održavanja oralne higijene i abrazivnom djelovanju paste za zube, a često ih potiče pušenje, unos hrane bogate taninom (npr. crno vino) i korištenje određenih kationskih agensa kao što je klorheksidin (15, 16). Raspon boja i raspodjelu boje u različitim dijelovima zuba opisali su brojni istraživači (17). Općenito, prednji gornji zubi su nešto žući od prednjih donjih zubi, a središnji gornji sjekutići su svjetliji od bočnih sjekutića i očnjaka.



Slika 4: Određivanje boje zuba VITA Easychade V spektrofotometrom (fotografirao autor)

Brojne studije koje su uključivale prirodne zube pokazale su da ne postoje značajnije razlike u boji zuba između muškaraca i žena. Prirodna boja zuba postaje tamnija i žuća starenjem, te je zabilježeno i povećanje crvenila incizalnog brida zbog dugotrajnog abrazivnog trošenja u regiji sjekutića. Utjecaj starosti na boju zuba posljedica je brojnih čimbenika. Starenjem se zubna pulpa smanjuje, ostavljajući sekundarni dentin. Okolni dentin postaje tvrdi i manje propustan. Istovremeno pigmenti i ioni amorfne organske i anorganske prirode prodiru kroz caklinu i talože se na caklinsko-dentinskom spojištu i unutar strukture dentina. Kromatografska vrijednost dentina postaje zasićenija i cjelokupna vrijednost zuba postaje manja. U kombinaciji sa sve manjom debljinom cakline kao rezultatom normalnog trošenja, boja dentina počinje dominirati bojom zuba. Srednja trećina zuba opisana je kao mjesto koje najbolje predstavlja boju zuba. Ta činjenica proizlazi iz prozirnosti incizalnog brida na čiju boju uvelike utječe pozadina, te promjenjivost boje cervikalne trećine pod utjecajem raspršene svjetlosti iz gingive (17).

1.3.1. Boja u dentalnoj medicine

U stomatološke svrhe, Munsellovim dimenzijama boje pridodane su i slijedeće karakteristike: translucencija, fluorescencija, opacitet i metamerizam (18).

Ljudski zubi posjeduju različite stupnjeve translucencije što se može definirati kao gradijent između prozirnog i neprozirnog. Translucencija cakline varira ovisno o kutu upada, teksturi i sjaju površine, valnoj duljini i stupnju dehidracije. Općenito, povećanje translucencije keramičke krunice smanjuje njezinu svjetlinu jer se manje svjetlosti vraća u oko. Kod većih stupnjeva translucencije, svjetlost može proći kroz površinu i raspršiti se unutar keramičkog nadomjeska.

Fluorescencija je apsorpcija svjetlosti od strane materijala i spontana emisija svjetlosti duže valne duljine. U prirodnom zubu prisutna je prvenstveno u dentinu zbog veće količine organskog materijala (8). Zubi su fluorescentni jer emitiraju vidljivu svjetlost kada su izloženi ultraljubičastom svjetlu (2). Što dentin više fluorescira, to je niža kromatografska vrijednost. Kako bi se povećala količina svjetlosti koja se vraća gledatelju, blokirale diskoloracije i smanjile kromatografske vrijednosti, keramičkim nadomjescima se dodaju fluorescentni puderi. To je posebno korisno kod jako svijetlih nijansi jer može povećati svjetlinu bez negativnog utjecaja na translucenciju kada se stavi unutar slojeva keramičkog dentina (19).

Opacitet je pojava u kojoj se čini da je materijal jedne boje kada reflektira svjetlost i druge boje kada transmitira svjetlost. Prirodni opal je vodeni disilikat koji lomom razbija transiluminiranu svjetlost u svoj sastavni spektar. Opali djeluju poput prizme i lome različite valne duljine u različitim stupnjevima. Kraće valne duljine se više lome i zahtijevaju veći kritični kut da bi izašle iz optički gustog materijala nego crvene i žute. Hidroksiapatitni kristali cakline također djeluju kao prizme. Kada su osvijetljeni, opali i caklina će transiluminirati crvene i raspršiti plave valne duljine unutar svog tijela zbog čega caklina izgleda plavkasto iako je bezbojna. Opalescentni efekti cakline posvjetljuju zub pružajući mu optičku dubinu i vitalitet (8, 19).

Dvije boje koje izgledaju kao da se podudaraju pod određenim svjetlosnim uvjetima, ali posjeduju različitu spektralnu refleksiju nazivaju se metameri, a fenomen je poznat kao metamerizam. Problem metamerizma moguće je izbjeći odabirom nijanse i njezinim potvrđivanjem pod različitim svjetlosnim uvjetima, poput prirodnog svjetla i fluorescentnog svjetla (8).

1.3.2. Upute za odabir boje

Pravilan redoslijed odabira boje zuba je odabir svjetline, kromatografske vrijednosti i nijanse. Odabir boje nužno je provoditi na sustavan način koji osigurava točnost, ujednačenost i predvidljive rezultate koji su iznimno važni u estetskoj dentalnoj medicini (20).

Preporučene upute za odabir boje odnose se na: rasvjetu radnog mjesta, utjecaj boje okoline, stanje zuba, udaljenost doktora od zuba, položaj pacijenta, vrijeme dana i test škiljenja za ograničavanje svjetla.

Sunčeva svjetlost usred dana smatra se optimalnom za odabir boje jer ekspozicija u to doba dana sadrži gotovo jednak spoj svih valnih duljina svjetlosti u usporedbi s jutarnjim i večernjim ekspozicijama koje su bogatije crvenkastim i žutim valnim duljinama. U klinikama koje nemaju izravan pristup sunčevoj svjetlosti potrebna je upotreba umjetnog svjetla za simulaciju sunčeve svjetlosti. Iako nijedno umjetno svjetlo ne može savršeno simulirati sunčevu svjetlost, njihova upotreba prihvatljiva je u kliničke svrhe. Prije odabira boje potrebno je utvrditi svjetlost kojoj su pacijenti najviše izloženi u svakodnevnoj rutini (21).

Preporuča se izbjegavanje svijetlih okolina jer ometaju pravilno određivanje boje utječući na boje reflektiranog svjetla. Za maskiranje nepoželjnih boja u odjeći i nakitu može se upotrebljavati zastor. Ruž za usne treba ukloniti kako ne bi utjecao na percepciju boje. Vrlo svijetlo siva boja pruža idealnu pozadinu za određivanje boje, dok površine s visokim sjajem proizvode ometajuće odsjaje i treba ih izbjegavati (20, 21).

Zub čiju boju određujemo, kao i njegov susjedni zub, moraju biti bez naslaga i drugih površinskih mrlja. Zub bi trebao biti vlažan jer dehidrirani zub rezultira bjeljim izgledom. U slučaju upotrebe koferdama važno je imati na umu da zub postaje suši nakon njegovog nanošenja te je boju potrebno odrediti prethodno (20, 21).

Za određivanje boje idealnom se smatra udaljenost od 61 do 183 centimetra od usne šupljine. Potrebno je da pacijent sjedi u stomatološkoj stolici tako se njegovi zubi nalaze u razini očiju operatera. Operater treba stajati ispred pacijenta uz svjetlost usmjerenu na zube. Preporuka je provoditi odabir i usklađivanje boje u jutarnjim satima, kada je zamor očiju minimalan (21).



Slika 5: Položaj operatera i pacijenta tijekom postupka mjerenja (izvorna fotografija autora)

Test škiljenja omogućuje odabir boje ograničavanjem svjetlosti koja ulazi u oko. Izvodi se tako da se kapci približe, a zatim se gleda u ključ boja i prirodne zube. Boja koja prva nestaje iz vida je ona koja je najmanje uočljiva u usporedbi s bojom zuba (21).

1.4. Postupci određivanja boje

Estetika je posljednjih godina dobila veliku važnost kako među stomatolozima tako i među pacijentima. Iznimno je važno izraditi estetski nadomjestak koji se simetrično stapa sa susjednim prirodnim zubima pacijenta. Zbog široke palete prirodnih boja zuba, postizanje idealnog poklapanja nijansi umjetnih i prirodnih zuba predstavlja određeni izazov. U slučaju neadekvatnog odabira boje, pacijenti su nezadovoljni i zahtijevaju ponavljanje rada zbog čega svaki stomatolog treba biti upoznat s pravilnim postupkom odabira boje kako bi se postigao najbolji mogući ishod. Ljudski mozak može identificirati gotovo milijun nijansi zbog čega danas na tržištu postoje precizni uređaji koji mogu prepoznati otprilike 10 milijuna različitih nijansi. Nijanse ljudskih zuba značajno se razlikuju, a elektronički uređaji posjeduju sposobnost identifikacije otprilike 100 000 nijansi zuba dok ljudsko oko može identificirati svega 1% tih nijansi. Teško je točno opisati i verbalno prenijeti nijanse zbog čega se za karakterizaciju percepcije reflektirane svjetlosti od površine zuba koriste već prethodno spomenute tri varijable: nijansa, svjetlina i kromatografska vrijednost (20).

S obzirom na vrstu postupka određivanje boje u dentalnoj medicini može se podijeliti na:

1. klasično (konvencionalno)
2. digitalno (18, 20).

1.4.1. Klasično određivanje boje

Konvencionalno ili klasični vizualni način određivanja boje zuba u upotrebi je već više od stotinu godina, a podrazumijeva upotrebu dentalnih ključeva boja od strane doktora i dentalnih tehničara. Ključevi boja su skupovi fizičkih uzoraka boje zuba koji se upotrebljavaju za procjenu boje zuba ili protetskog nadomjeska. U postupku određivanja odabranu boju iz ključa potrebno je postaviti ispod zuba čiju boju želimo odrediti u svrhu izbjegavanja binokularnog fenomena kod kojeg svako oko istu različito percipira istu boju (6, 22). Trenutno najpopularniji ključevi boja u svakodnevnoj upotrebi su:

1. Vita Classic (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Njemačka)
2. Vitapan 3D-Master (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Njemačka)
3. Chromascop (Ivoclar - Vivadent, Schaan, Lihtenštajn).

Svaki od navedenih ključeva posjeduje određene oznake koje se koriste za izražavanje Munsellovih karakteristika boja: nijansa, svjetlina i kromatografska vrijednost. Kod Vita Classic ključa boja 4 pločice su grupirane po nijansama na slijedeći način:

- A (crveno-žuta nijansa) – A1, A2, A3, A3.5, A4
- B (žuta nijansa) – B1, B2, B3, B4
- C (siva nijansa) – C1, C2, C3, C4
- D (crveno-žuto-sive nijanse) – D2, D3, D4.



Slika 6: Ključ boja Vita Classic (fotografirao autor)

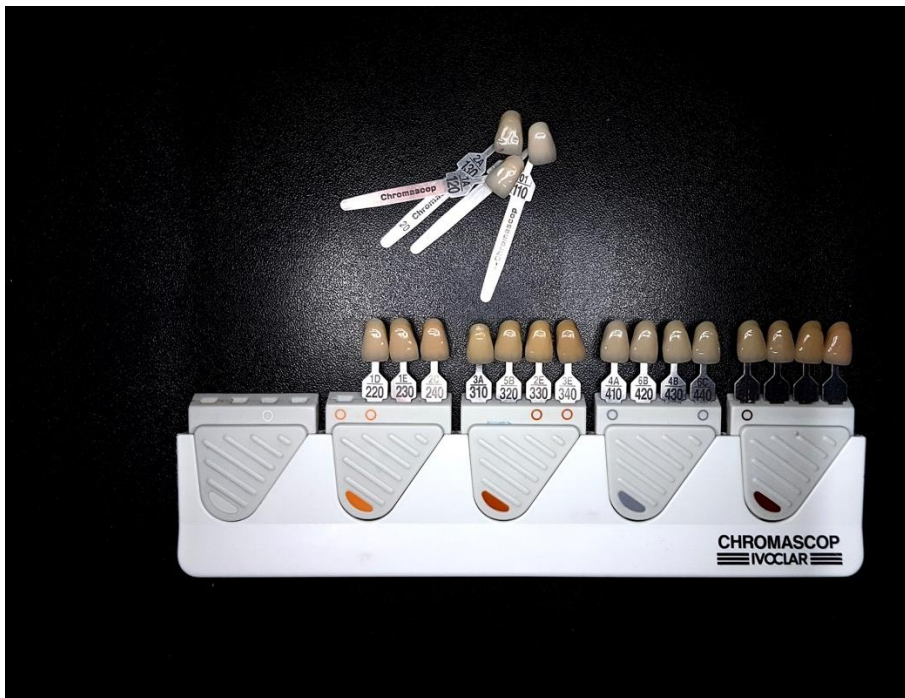
Kromatografska vrijednost označena je broječanim vrijednostima 1, 2, 3 i 4. Pri upotrebi ovog ključa boja, operater najprije odabire nijansu koja je najbliža prirodnom zubu. Nakon odabira nijanse (npr. B), stupanj zasićenosti (ili engl. *chroma*) odabire se između gradacije unutar nijanse (B1, B2, B3 ili B4) (2).

Početkom 1990-tih, Vita je predstavila 3D-Master ključ boja s ciljem točnije procjene boje prema tri komponente: nijansa, svjetlina, kroma. Za razliku od većine dentalnih ključeva, 3D Master pokušava reproducirati trodimenzionalnu analizu boje. Dijelovi ključa su raspoređeni sustavno i logično, a ne nasumično kao u klasičnom Vita ključu (2). Sastoji se od 26 pločica podijeljenih u pet grupa ovisno o svjetlini boje. Svi zubi jedne pločice posjeduju jednaku svjetlinu. Brojevi ispred slova (1, 2, 3, 4, 5) označavaju broj grupe i razinu svjetline; manji broj označava veću svjetlinu (20). Sve skupine, s izuzetkom 1 i 5, označene su sa tri slova L, M i R (L - eng. *left*, žuta nijansa; M - eng. *medium*, srednja nijansa; R - eng. *right*, crvena nijansa), što odgovara različitim nijansama. Brojevi koji slijede iza oznake nijanse predstavljaju stupanj zasićenosti (1, 1.5, 2, 2.5, 3). 3D Master ključ boja smatra se superiornijim od Vita Classic ključa jer sadrži poboljšan spektar svjetline i dodatne vrijednosti zasićenosti (20).



Slika 7: Ključ boja Vita 3DMaster (fotografirao autor)

Chromascop koristi brojeve za razlikovanje nijansi: 100 (bijela), 200 (žuta), 300 (narančasta), 400 (siva) i 500 (smeđa). Zasićenost boje označena je drugim skupom brojeva, pri čemu su 10 jako svijetle nijanse niske zasićenosti, a 40 su boje manje svjetline i veće zasićenosti (2).



Slika 8: Ključ boja Chromascop (fotografirao autor)

Upotreba ključeva boja je raširena i u današnje moderno doba kada su dostupni moderniji i precizniji digitalni uređaji za određivanje boja zbog čega je potrebno istaknuti i nedostatke koji proizlaze iz njihove upotrebe:

- boje u ključevima razlikuju se ovisno o proizvođaču
- keramika korištena za izradu nadomjestaka ne mora biti identična onom u korištenom ključu
- ključevi boja ne mogu precizno usmjeriti izradu keramičkog nadomjestaka
- nijanse u ključu nisu logično organizirane i ne pokrivaju spektar boja prisutan u prirodnoj denticiji
- standardna pločica boje izrađena je od sintetičke smole i ima veću debljinu od debljine krunice (17, 23).

1.4.2. Digitalno određivanje boje

S obzirom na prethodno spomenute nedostatke ključa boja i zahvaljujući sve bržem razvoju tehnologije, danas na tržištu postoje različiti digitalni uređaji koji pomažu u preciznijem određivanju boje. Sve više se u svakodnevnoj kliničkoj praksi upotrebljavaju spektrofotometri, kolorimetri i digitalne kamere (24).

Spektrofotometri su među najtočnijim, najkorisnijim i najfleksibilnijim instrumentima za cjelokupno podudaranje boja i nijansi u stomatologiji. Oni mjere količinu svjetlosne energije reflektirane od objekta u intervalima od 1- 25 nm duž vidljivog spektra. Sadrže izvor optičkog zračenja, mogućnost raspršivanja svjetlosti, optički sustav za mjerenje, detektor i mogućnost pretvorbe dobivene svjetlosti u signal koji se može analizirati. Podaci dobiveni spektrofotometrom se moraju prevesti u oblik koristan za stomatološke stručnjake. Mjerenja dobivena instrumentima često se povezuju sa dentalnim ključem boja i pretvaraju u ekvivalent boje ključa. U usporedbi s opažanjima ljudskim okom ili konvencionalnim tehnikama, utvrđeno je da spektrofotometri nude 33% veću točnost i objektivnije podudaranje boje u 93.3% slučajeva u odnosu na dentalne ključeve čija upotreba u većoj mjeri podrazumijeva subjektivniji odabir boje (24).

Primjer takvog uređaja na tržištu je Vita Easyshade V (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Njemačka). Radi se o malom, bežičnom, prijenosnom, troškovno učinkovitim, kontaktom spektrofotometru koji pruža dovoljno informacija o nijansi za pomoć u procesu analize boje. S Easyshade V spektrofotometrom mogući su slijedeći načini mjerenja: mjerenje pojedinačnog zuba, mjerenje područja zuba (cervikalna, srednja i incizalna nijansa), provjera boje keramičkog nadomjeska (uključuje usporedbu svjetline, zasićenosti i nijanse) i mjerenje ključem boja (postavka za vježbanje određivanja boje) (24).

Kolorimetri mjere boju (svjetlina, nijansa, zasićenost) kako je percipira ljudsko oko filtrirajući svjetlost u crvenim, zelenim i plavim područjima vidljivog spektra. Ne bilježe spektralnu refleksiju i najčešće su manje precizni od spektrofotometra (24). ShadeVision (X-Rite, Grandville, SAD) je kolorimetar koji osigurava potpunu sliku zuba dobivenu korištenjem triju odvojenih baza podataka: za cervikalnu, srednju i incizalnu trećinu.

Većina digitalnih fotoaparata dobiva informacije o crvenoj, zelenoj i plavoj boji koje se koriste za stvaranje slika u boji. RGB (engl. *red-green-blue*) model boja je aditivni model u kojem se prethodno navedene boje zbrajaju na različite načine kako bi se reproducirao širok spektar boja. Digitalne kamere predstavljaju najosnovniji način elektroničkog određivanja nijansi koji još uvijek zahtijeva određeni stupanj subjektivne selekcije boje ljudskim okom. ClearMatch (Smart Technology, Hood River, SAD) je softverski sustav koji se koristi za analizu fotografija visoke rezolucije i uspoređuje boje cijele površine zuba s poznatim referentnim bojama (24).

2. HIPOTEZA

Hipoteze istraživanja su:

1. Ne postoji razlika u CIE L*a*b* vrijednostima izmjerene boje (svjetline, zasićenosti i nijanse) gornjih i donjih prednjih zuba u muških i ženskih ispitanika.
2. U pojedinačnim skupinama gornjih i donjih prednjih zuba (desni i lijevi središnji i lateralni sjekutići te očnjaci) ne postoji razlika u prethodno navedenim vrijednostima izmjerene boje.
3. CIE L*a*b* vrijednosti pojedinačnih skupina gornjih i donjih prednjih zuba neće se međusobno razlikovati.

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja bio je izmjeriti i međusobno usporediti CIE L*a*b* vrijednosti gornjih i donjih prednjih zuba ovisno o spolu ispitanika, unutar svake ispitivane skupine zuba te između svih ispitivanih skupina međusobno.

4. ISPITANICI I METODE

4.1. Ustroj studije

Diplomski rad napravljen je u obliku presječne studije.

4.2. Ispitanici

Istraživanje je provedeno na zaposlenicima (doktori dentalne medicine, dentalni asistenti, administrativno osoblje) Poliklinike Ars Salutaris u Zagrebu. Za sudjelovanje u istraživanju se prijavilo 34 ljudi u dobi od 25 do 35 godina starosti, od čega 21 žena (prosječne dobi 29,1 godine) i 13 muškaraca (prosječne dobi 28,5 godina). Kriteriji uključivanja u ovo istraživanje za svakog su potencijalnog sudionika bili postojanje potpuno prirodnih, intaktnih prednjih gornjih i donjih zuba, bez karijesa, endodontskih zahvata, kompozitnih ispuna ili keramičkih nadomjestaka, ugrađenih implantata, gingivitisa, parodontitisa, bilo koje vrste ekstrinzične ili intrinzične diskoloracije prirodnih zuba, mrlja, oštećenosti ili istrošenosti zuba. Potencijalni sudionici također nisu mogli biti oni kojima je završena ili se trenutno provodila ortodonska terapija. Iz istraživanja su isključene 2 žene zbog pronalaska endodontski liječenih sjekutića te 2 muškaraca zbog prethodne ortodonske terapije i kompozitnih ljuskica na sjekutićima. Nakon isključivanja onih koji nisu zadovoljili kriterije uključivanja, ukupni uzorak sastojao se od 30 ispitanika, 11 muškaraca i 19 žena, prosječne dobi od 28,4 godine.

Istraživanje je odobreno od strane Etičkog povjerenstva ustanove u kojoj je provedeno te je svaki sudionik potpisao informirani pristanak kojim potvrđuje dobrovoljno sudjelovanje u istraživanju.

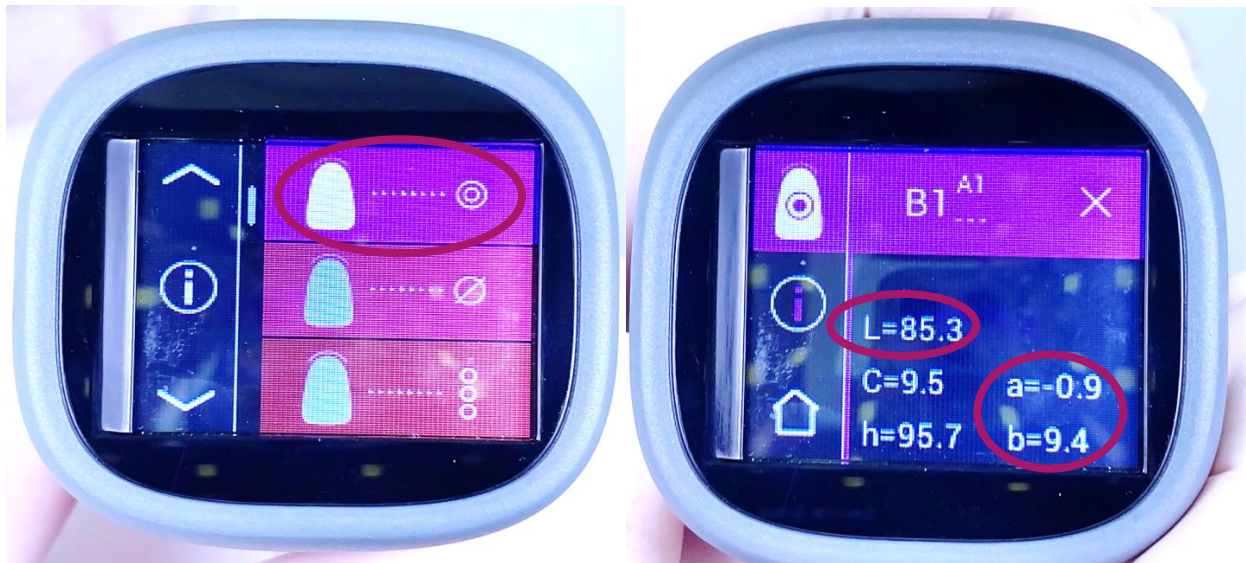
4.3. Metode

Svakom je ispitaniku u istraživanju VITA Easyshade V spektrofotometrom (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Njemačka) određena boja svih gornjih i donjih prednjih prirodnih zuba. Istraživanje je provedeno u stomatološkoj ordinaciji pod halogenim svjetlom uz blokiranje prirodnog izvora

svjetlosti sivom zavjesom. Prije samog postupka određivanja boje navedenim uređajem, svakom ispitaniku su polirani i očišćeni zubi te je glava adekvatno namještena u stomatološkoj stolici. Usta ispitanika su tijekom postupka mjerenja bila blago otvorena, a jezik udaljen od prednjih zuba. Za svakog ispitanika korištena je nova zaštitna kapica za vrh sonde iz higijenskih razloga. Spektrofotometar je korišten u funkciji mjerenja pojedinačnog zuba. Prije svakog mjerenja uređaj je kalibriran, a zatim pravilno prislonjen tako da ravnomjerno dodiruje srednju trećinu vestibularne plohe zuba. Nakon mjerenja dobivene $L^*a^*b^*$ vrijednosti za svih 12 zuba svakog ispitanika su zabilježene i unesene u bazu podataka. Sve su CIEL^{*}a^{*}b^{*} vrijednosti za svaku pojedinačnu skupinu zuba unesene u formulu:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

i izračunate su razlike u boji između pojedinih skupina zuba (25).



Slike 9 i 10: Funkcija mjerenja pojedinačnog zuba i prikaz dobivenih vrijednosti mjerenjem
(fotografirao autor)

4.4. Statističke metode

Za analizu podataka u ovom je istraživanju korišten statistički program SPSS 19.0 (SPSS, Chicago, IL, USA).

Testiranje normalnosti distribucije izmjerenih podataka provedeno je Shapiro-Wilk testom.

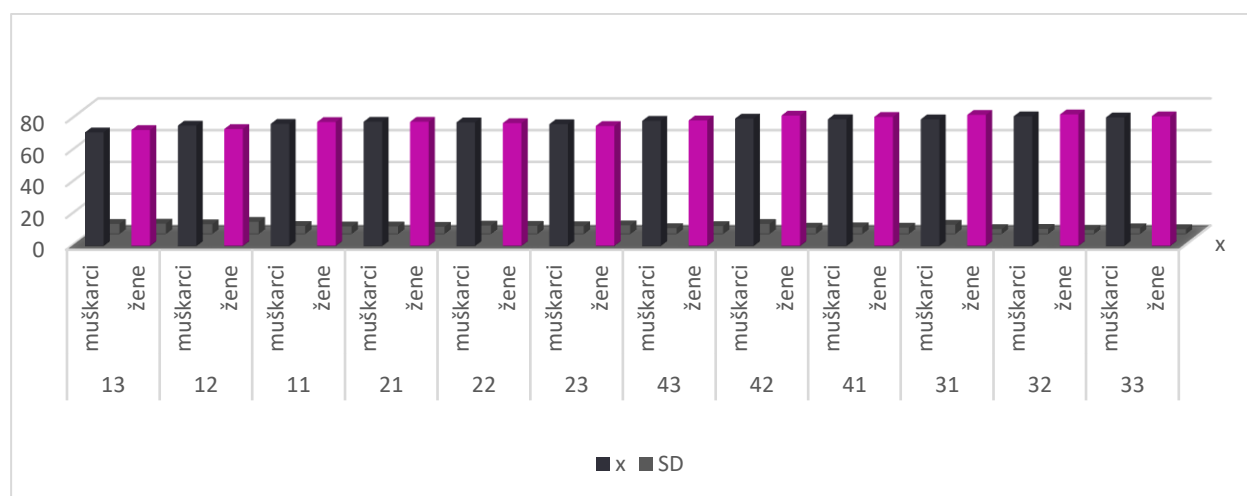
Za testiranje razlike u CIE L*a*b* vrijednostima između muških i ženskih ispitanika korišten je Studentov t-test, za testiranje razlike u CIE L*a*b* vrijednostima unutar svake ispitivane skupine (lijevi i desni gornji i donji središnji i lateralni sjekutići te očnjaci) korišten je t-test za zavisne uzorke.

Statistička analiza provedena je na razini značajnosti od alpha 0.5.

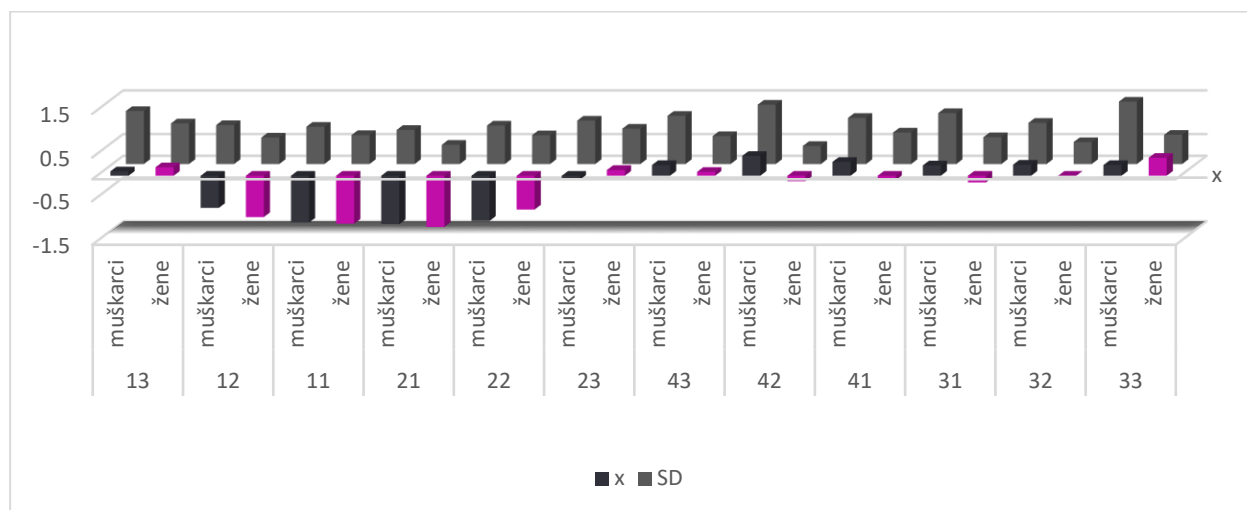
5. REZULTATI

Testiranje normalnosti distribucije svih prikupljenih podataka o boji zuba (CIE L*a*b* vrijednosti) pokazalo je kako je većina varijabli (25 od 36) normalno distribuirana (Statistic=0,866-0,929; df=30; P=0,001-0,045) te su stoga u daljnjoj statističkoj analizi korišteni parametrijski testovi – Studentov t-test za testiranje razlike u CIE L*a*b* vrijednostima na svim ispitivanim zubima ovisno o spolu ispitanika te t-test za zavisne uzorke za testiranje razlike u istim vrijednostima unutar svake skupine zuba.

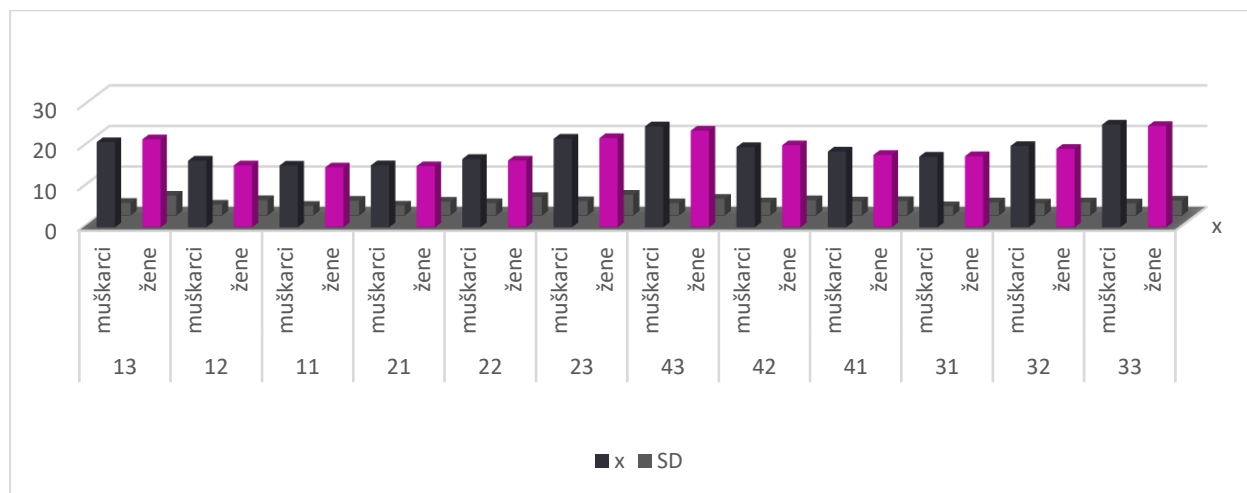
Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) CIE L*a*b* vrijednosti svih izmjerenih zuba u istraživanju (gornji i donji prednji zubi) prikazane su na slikama 11, 12 i 13. Studentov t-test pokazao je kako ne postoji razlika u izmjerenim vrijednostima ovisno o spolu ispitanika (P>0.05) (Tablica 1). S obzirom da razlika po spolu nije pronađena u daljnjoj statističkoj analizi korišteni su podatci ukupnog uzorka.



Slika 11. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) CIE L* vrijednosti izmjerenih gornjih i donjih prednjih zuba u oba spola



Slika 12. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) CIE a* vrijednosti izmjerenih gornjih i donjih prednjih zuba u oba spola

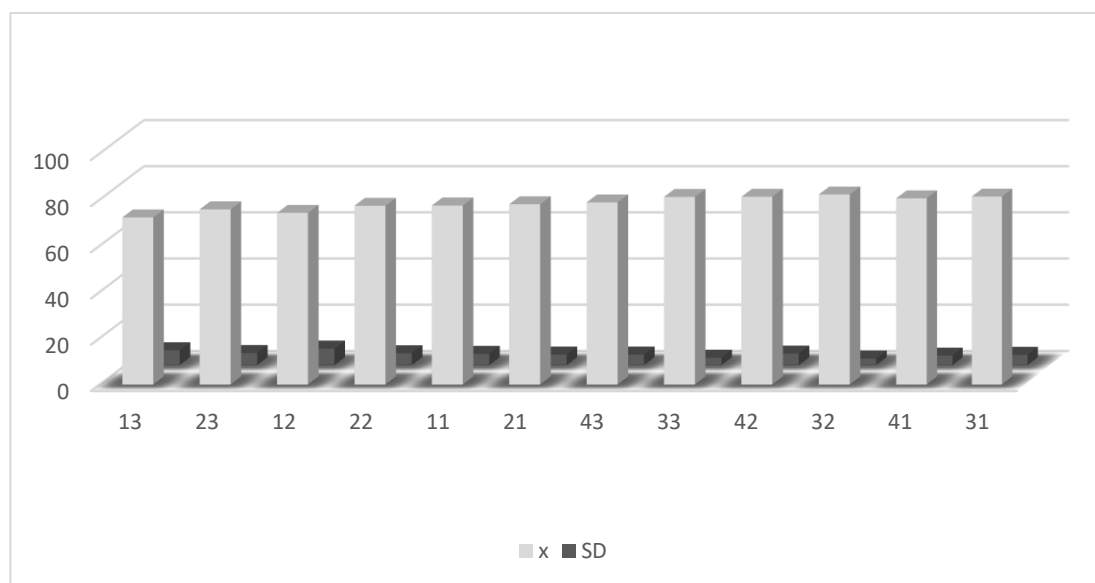


Slika 13. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) CIE b* vrijednosti izmjerenih gornjih i donjih prednjih zuba u oba spola

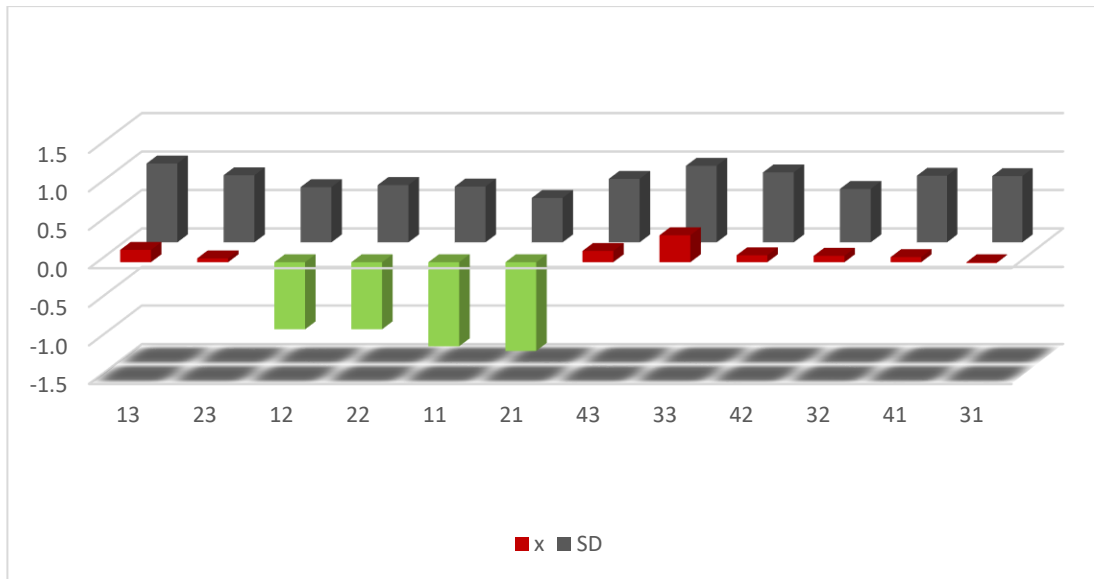
Tablica 1. Statistička značajnost CIE L*a*b vrijednosti izmjerenih na gornjim i donjim prednjim zubima ovisno o spolu

zub	t vrijednost	stupnjevi slobode	P vrijednost
L13	-0,60	28	0,55
L12	0,79	28	0,44
L11	-0,62	28	0,54
L21	0,01	28	0,99
L22	0,22	28	0,83
L23	0,58	28	0,57
L43	-0,14	28	0,89
L42	-1,04	28	0,31
L41	-0,95	28	0,35
L31	-1,76	28	0,09
L32	-1,14	28	0,26
L33	-0,60	28	0,55
a13	-0,24	28	0,81
a12	0,77	28	0,45
a11	0,10	28	0,92
a21	0,29	28	0,77
a22	-0,93	28	0,36
a23	-0,67	28	0,51
a43	0,49	28	0,63
a42	1,75	28	0,09
a41	1,22	28	0,23
a31	1,20	28	0,24
a32	1,03	28	0,31
a33	-0,43	28	0,67
b13	-0,42	28	0,67
b12	0,91	28	0,37
b11	0,36	28	0,72
b21	0,19	28	0,85
b22	0,26	28	0,80
b23	-0,09	28	0,93
b43	0,75	28	0,46
b42	-0,34	28	0,73
b41	0,62	28	0,54
b31	-0,10	28	0,92
b32	0,61	28	0,55
b32	0,26	28	0,80

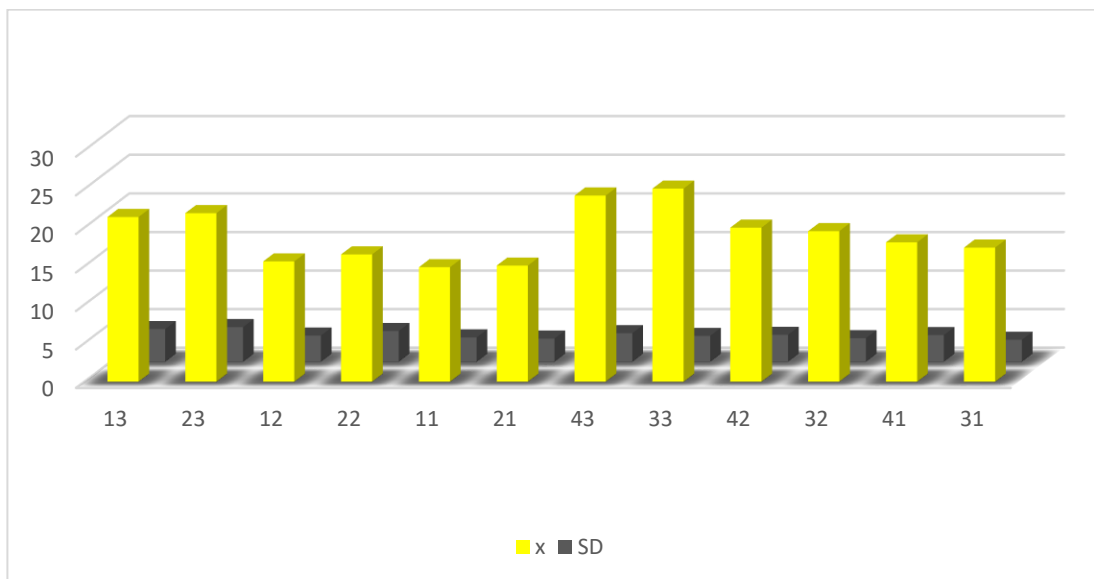
Srednje vrijednosti (\bar{x}) i standardne devijacije (SD) CIE L*a*b* vrijednosti parova zuba svake pojedinačne ispitivane skupine (gornji i donji, lijevi i desni središnji i lateralni sjekutići i očnjaci) prikazane su na slikama 14, 15 i 16. T-test za zavisne uzorke pokazao je kako ne postoji razlika u izmjerenim vrijednostima parova zuba svake ispitivane skupine ($P > 0,05$) (Tablica 2). S obzirom da razlika u CIE L*a*b* vrijednostima između desnog i lijevog zuba unutar svake pojedinačne skupine nije pronađena, u daljnjoj su statističkoj obradi korištene srednje vrijednosti mjerenja za svaku ispitivanu skupinu zuba.



Slika 14. Srednje vrijednosti (\bar{x}) i standardne devijacije (SD) CIE L* vrijednosti svih izmjerenih gornjih i donjih prednjih zuba



Slika 15. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) CIE a* vrijednosti svih izmjerenih gornjih i donjih prednjih zuba



Slika 16. Srednje vrijednosti (x) i standardne devijacije (SD) CIE b* vrijednosti svih izmjerenih gornjih i donjih prednjih zuba

Tablica 2. Statistička značajnost CIE L*a*b* vrijednosti parova zuba unutar svake ispitivane skupine

par	t vrijednost	stupnjevi slobode	P vrijednost
L13-23	-1,55	29	0,07
L12-22	-1,32	29	0,21
L11-21	-1,02	29	0,32
L43-33	-1,49	29	0,08
L42-32	-1,49	29	0,15
L41-31	-1,25	29	0,22
a13-23	0,92	29	0,36
a12-22	0,00	29	1,00
a11-21	0,58	29	0,57
a43-33	-1,65	29	0,06
a42-32	0,02	29	0,98
a41-31	0,67	29	0,51
b13-23	-0,91	29	0,37
b12-22	-1,69	29	0,10
b11-21	-,84	29	0,41
b43-33	-1,70	29	0,06
b42-32	1,02	29	0,32
b41-31	1,78	29	0,09

Srednje CIE L*a*b* vrijednosti svake ispitivane skupine zuba prikazane su u Tablici 3., a iznos razlike u CIE L*a*b* vrijednostima (ΔE) izračunat prema formuli između svih ispitivanih skupina zuba međusobno prikazani su u Tablici 4.

Tablica 3. Srednje CIE L*a*b* vrijednosti svih ispitivanih skupina zuba

	L	a	b
gornji očnjaci	74,2	0,1	21,7
gornji lateralni sjekutići	66,1	-0,3	17,6
gornji središnji sjekutići	67,5	-0,7	16,7
donji očnjaci	80,2	0,2	24,6
donji lateralni sjekutići	80,2	0,1	23,3
donji središnji sjekutići	79,9	-0,1	21,4

Rezultati pokazuju kako su vrijednosti svjetline u skupinama gornjih zuba niže od donjih, ali su zato istovremeno te skupine zuba nižih a i b vrijednosti, odnosno iz crvenog spektra prelaze u zeleni, a žuti im je spektar nižih vrijednosti od donjih zuba (Tablica 3).

Tablica 4. Iznos razlike (ΔE) u CIE L*a*b* vrijednostima svih ispitivanih skupina zuba međusobno

uspoređivane skupine	ΔE vrijednost
gornji očnjaci – gornji lateralni sjekutići	2,8
gornji očnjaci – gornji središnji sjekutići	4,2
gornji lateralni sjekutići – gornji središnji sjekutići	1,7
donji očnjaci – donji lateralni sjekutići	2,4
donji očnjaci – donji središnji sjekutići	3,7
donji lateralni sjekutići – donji središnji sjekutići	1,4
gornji očnjaci – donji očnjaci	7,3
gornji lateralni sjekutići – donji lateralni sjekutići	7,3
gornji središnji sjekutići – donji središnji sjekutići	6,6

Rezultati su pokazali kako najmanja razlika u boji zuba postoji između središnjih i lateralnih sjekutića i u gornjoj i u donjoj čeljusti, nešto malo veća između lateralnih sjekutića i očnjaka, dok je najveća razlika zabilježena između očnjaka i središnjih sjekutića i u gornjoj i u donjoj čeljusti (Tablica 4).

Rezultati su također pokazali kako je razlika u boji zuba ispitivanih skupina zuba uspoređenih u gornjoj i donjoj čeljusti vrlo velika i puno viša u odnosu na razlike unutar jedne čeljusti. Ona je za skupine gornjih i donjih očnjaka i gornjih i donjih lateralnih sjekutića iznosila 7,3 dok je za skupinu gornjih i donjih središnjih sjekutića iznosila 6,6 (Tablica 4).

6.RASPRAVA

Cilj ovog istraživanja bio je izmjeriti i međusobno usporediti CIE L*a*b* vrijednosti gornjih i donjih prednjih zuba ovisno o spolu ispitanika, unutar svake ispitivane skupine zuba te između svih ispitivanih skupina međusobno. U tu je svrhu u njemu nakon isključivanja potencijalnih sudionika koji nisu zadovoljili kriterije uključivanja sudjelovalo 30 ispitanika kojima su spektrofotometrijski izmjerene CIE L*a*b* vrijednosti svih gornjih i donjih prednjih zuba. S obzirom na dob ispitanika odlučeno je da će se ispitivanje provesti na relativno mlađoj populaciji odraslih osoba (25 – 35 godina starosti) koja još uvijek zadovoljava osnovni uvjet, a to je postojanje intaktnih, zdravih gornjih i donjih prednjih zuba, što u starijoj populaciji može biti problem zbog protetskih nadomjestaka, a u mlađoj zbog provođenja ortodontske terapije. S obzirom da je u konačnici prosječna dob ispitanika i u muškoj i u ženskoj skupini bila približno jednaka (28, 4 godine) u istraživanju nije provedeno testiranje razlike CIE L*a*b* vrijednosti po dobnim skupinama.

Usporedimo li CIE L*a*b* vrijednosti ispitanika starosti kao u ovom istraživanju sa istraživanjem Karamana i sur. (26) možemo zaključiti da su naši ispitanici imali daleko svjetlije, ali i intenzivnije (zasićenije) boje zuba. Njihovo je istraživanje pokazalo da je najčešća boja gornjih središnjih i lateralnih sjekutića bila A2 (što prema ključu boja odgovara svjetlini od 61,2, a vrijednosti od 0,9, a b vrijednosti od 9,27), dok je očnjaka bila B3 (što prema ključu boja odgovara svjetlini od 56,1, a b vrijednosti 1,9, a b vrijednosti 12,4 (27). Ako te vrijednosti usporedimo sa našima u Tablici 3, vidljivo je da su naši ispitanici imali svjetlije, nešto žuće i manje crvenkaste zube.

Usporedba CIE L*a*b* vrijednosti iz ovog istraživanja s rezultatima Đozić i sur. (28) pokazala je da su naše vrijednosti svjetline niže, a vrijednosti više, a b se uglavnom poklapaju. Pri ovoj usporedbi treba uzeti u obzir da se u njihovom istraživanju radilo se o ispitanicima prosječne dobi 34,4 godine, dakle nešto malo starijima. Ovakvi nalazi ukazuju na činjenicu velike raznolikosti u boji zuba koja je uvjetovana velikim brojem različitih čimbenika. Pri usporedbi važno je u obzir uzeti i činjenicu odabira protokola mjerenja jer u svakom istraživanju je ono drugačije.

Kao osnovni mjerni instrument u ovom istraživanju odabran je digitalni intraoralni spektrofotometar jer je dokazano precizniji u mjerenju od bilo kojeg ključa boja koji se danas klinički koriste (29). Razlog tome leži u činjenici da se radi o objektivnom mjerenju koje nije pod utjecajem promatračeva oka, okolnog osvjetljenja i vremenskih prilika (30). Uumor oka promatrača, kombinacija različitih izvora svjetlosti u stomatološkoj ordinaciji, boja podloge i

okoline zuba, utjecaj vanjskog svjetla i sposobnost i uvježbanost promatrača mogu biti od iznimne važnosti na konačni rezultat kojeg je potrebno maksimalno objektivizirati (30). Svi navedeni čimbenici svakodnevno utječu na sposobnost vizualne procjene boje stomatologa, a dodatan problem predstavlja veliki broj različitih ključeva boja koji se nude na tržištu bez naznake da ključ kojim se stomatolog služi u ordinaciji mora odgovarati ključu boja s kojim radi dentalni tehničar i keramičkim bojama koje upotrebljava. Dosadašnja istraživanja također su pokazala da je introralni spektrofotometar još uvijek precizniji u mjerenju karakteristika boje od najsuvremenijih i najnovijih intraoralnih skenera za koje proizvođači navode da također mogu mjeriti boju zuba, što bi uvelike olakšalo stomatološki klinički rad (30, 31). Razlog tome leži u činjenici da spektrofotometar svojim osvjetljenjem prodire u dubinu strukture zuba, na oko 1,4 mm i zapravo mjeri boju dentina, a ne prozirkaste cakline, dok intraoralni skener radi po principu refleksije svjetlosnih zraka o samu površinu zuba te na taj način zapravo ne može, bar zasad, mjeriti boju dentina (31, 32).

Prva hipoteza u ovom istraživanju o nepostojanju razlike u CIE L*a*b* vrijednostima je potvrđena jer statistička analiza nije dokazala postojanje statistički značajne razlike između muških i ženskih ispitanika (Slike 11-13; Tablica 1; $P > 0.05$). Rezultati su pokazali da su CIE L*a*b* vrijednosti u obje ispitivane skupine zapravo vrlo slične, da su donji zubi općenito svjetliji od gornjih, da jedino gornjim središnjim i lateralnim sjekutićima manjka crvene boje i da su više zelenkasti te da su svi očnjaci najintenzivnije žute boje (Slike 11-13). Što se tiče razlike u CIE L*a*b* vrijednostima po spolu u literaturi se nalazi bitno razlikuju. Neka su istraživanja dokazala postojanje ovakve vrste razlike, dok druga tu razliku niječu (33, 34). Karaman i sur. (26) u svojem su istraživanju dokazali da je jedina karakteristika boje koja se razlikovala ovisno o spolu bila a* vrijednost, odnosno da su žene imale nešto crveniju boju zuba od muškaraca, dok su se ostale dvije karakteristike boje (L* i b* vrijednosti) poklapale.

S obzirom da razlika u izmjerenim vrijednostima u ovom istraživanju nije dokazana, u daljnjoj statističkoj analizi korišten je ukupan uzorak.

Druga hipoteza u ovom istraživanju također je potvrđena jer statistička analiza nije dokazala postojanje statistički značajne razlike u izmjerenim CIE L*a*b* vrijednostima unutar svake pojedinačne ispitivane skupine zuba, odnosno nije postojala razlika u karakteristikama boje između svakog lijevog i desnog zuba unutar skupina središnjih i lateralnih sjekutića te očnjaka (Slike 14-16; Tablica 2; $P > 0,05$). Ovakav nalaz bio je i očekivan jer se obično smatra kako su lijevi i desni

središnji sjekutić gotovo identični u boji i da takav uzorak postoji za sve skupine zuba. U literaturi je vrlo teško pronaći podatke o usporedbi boje lijevog i desnog zuba iste skupine. Najčešće se promatra samo jedan zub i njegove tri trećine ili jedna skupina zuba, a još češće samo desna strana gornjih prednjih zuba (26). U literaturi je također zabilježeno i mjerenje prosječne boje jednog kvadranta (35). Ovakvo nepoklapanje i nepostojanje jedinstvenog protokola uvelike otežava kasnije tumačenje rezultata i njihovu usporedbu jer treba imati na umu da je ionako velika individualna raznolikost mogući uzrok velikih razlika koje se nalaze u različitim istraživanjima. U ovom istraživanju, s obzirom na nepostojanje razlike i po spolu i prema pojedinačnim skupinama, odlučeno je u daljnjem istraživanju koristiti srednje vrijednosti za svaku skupinu, dakle gornje i donje središnje, lateralne sjekutiće i očnjake tako da su CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti predstavljale srednju vrijednost lijeve i desne strane svake skupine zuba, neovisno o spolu ispitanika.

Treća je hipoteza odbačena jer je dokazano kako postoji razlika u CIE $L^*a^*b^*$ vrijednostima između različitih skupina gornjih i donjih zuba. Rezultati ovog istraživanja dokazali su kako postoji razlika u boji između svih ispitivanih skupina zuba.

Kako bi se boje zuba mogle međusobno uspoređivati koristi se posebna formula (prikazana prethodno u Metodi) u koju se unose podatci izmjerenih CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti za dvije skupine zuba i potom se ta razlika izražava brojem (25). Valja naglasiti da je u stomatologiji postignut konsenzus i određen prag do koje se smatra da je razlika prihvatljiva, odnosno više nije i naziva se pragom prihvatljivosti (eng. *Acceptability threshold* (AT)) (25). Generalno se smatra da je iznos ΔE od 2,66 granica i da svaki iznos razlike manji od tog broja ne predstavlja bitnu razliku u boji, a viši razliku koju većina promatrača zaista i vidi (25). Ovakav numerički oblik izražavanja razlike u boji prihvaćen je i kod postupaka izbjeljivanja jer dokazuje rezultat (36). Prag vidljivosti razlike zapravo ovisi i o promatraču kao i njegovoj uvježbanosti za promatranje boje pa je tako kod laika nešto viši (ΔE 2,89), a kod dentalnih tehničara koji se svakodnevno bave bojom niži (ΔE 2,42), ali se u istraživanjima najčešće koristi srednja vrijednost od 2,66 (25).

U ovom istraživanju također je izračunat ΔE za svaku pojedinu skupinu zuba u jednoj čeljusti, te ΔE za istu skupinu zuba u obje čeljusti (Tablica 4). Rezultati su pokazali kako je razlika u boji između središnjih i lateralnih sjekutića u obje čeljusti vrlo mala (u gornjoj čeljusti je 1,7, a u donjoj 1,4) i ispod je praga prihvatljivosti što znači da većina promatrača ne vidi razliku između te dvije skupine zuba. Razlika između lateralnih sjekutića i očnjaka je veća i nalazi se na granici prihvatljivosti (u gornjoj je 2,7, u donjoj 2,4), dok je najveća razlika uočena između očnjaka i

središnjih sjekutića i u gornjoj je čeljusti iznosila 4,2 , a u donjoj 3,7 te je premašila prag prihvatljivosti (Tablica 4). Ako se promatraju pojedinačno srednje CIE L*a*b* vrijednosti svake skupine zuba vidljivo je da su u gornjoj čeljusti sjekutići čak i nešto malo manje svijetli od očnjaka (lateralni su još tamniji od središnjih), ali su zato manje žuti, dok su očnjaci intenzivniji u žutoj boji i nešto malo crveniji (Tablica 3). Donje skupine zuba posjeduju gotovo jednake srednje CIE L*a*b* vrijednosti s iznimkom središnjih sjekutića koji su blago tamniji, ali i manje intenzivno žuti. Ovaj je rezultat očekivan jer se tri ispitivane skupine zuba razlikuju i morfološki i strukturno, odnosno očnjaci morfološki posjeduju više dentina i deblju caklinu u usporedbi sa sjekutićima (37). Uz to su i različitog oblika i zbog toga na različiti način propuštaju i reflektiraju svjetlost što pridonosi različitoj percepciji.

Razlika u istim skupinama zubi u nasuprotnoj čeljusti daleko je veća. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da je razlika između gornjih i donjih središnjih sjekutića 6,6, a lateralnih sjekutića i očnjaka 7,3 (Tablica 4). Radi se o vrijednostima gotovo tri puta većima od praga prihvatljivosti. Ako se pojedinačno analiziraju CIE L*a*b* vrijednosti iz Tablice 3 vidljivo je da su sve donje skupine zuba zapravo svjetlije, ali i nešto intenzivnije žute boje i zbog toga je vidljiva razlika koja se može ponovno interpretirati razlikom u morfologiji i strukturi zuba (37).

Rezultate ovog istraživanja vrlo je teško uspoređivati s ostalim studijama jer ne postoji unificirani protokol mjerenja i obrade podataka. Od onih rezultata koji se mogu relativno usporediti je istraživanje Karamana i sur. (26) koji su mjerili boju i izračunavali razliku na gornjih desnim sjekutićima i očnjacima i dobili su slične vrijednosti razlike (ΔE 3,8 - 4,5), a razlika je kao i u ovom istraživanju bila najmanja između sjekutića, nešto veća između lateralnih sjekutića i očnjaka, a najveća između središnjih sjekutića i očnjaka.

Rezultati istraživanja Đozić i sur. (28) također se poklapaju sa rezultatima ovog istraživanja i pokazuju jednaki trend, dapače, u njihovom je istraživanju razlika u boji između gornjih zuba svugdje bila čak nešto viša, ali radilo se i o nešto starijim pacijentima kod kojih je moglo doći i do većeg trošenja cakline koje također može utjecati na rezultat mjerenja.

Ovakvi rezultati potvrđuju da je boja zuba izrazito raznolika, individualna i ponekad nepredvidljiva što nam zapravo u estetskoj restaurativnoj i protetskoj stomatologiji predstavlja problem i svojevrsni izazov u oponašanju prirodne boje zuba pri bilo kojoj estetskoj rekonstrukciji, naročito u visokoj estetskoj zoni gornjih prednjih zuba. Rezultati ovog istraživanja također mogu biti od pomoći ne samo stomatolozima pri izradi kompozitnih ispuna nego i dentalnim tehničarima kojima

saznanje da postoji određeni trend u promjeni boje te različiti iznos razlike u boji može uvelike olakšati kreiranje i dizajn keramičkih nadomjestaka u visoko estetskoj zoni ili u slučajevima kada je potrebno uklopiti jedan samostalni pojedinačni estetski keramički nadomjestak u prirodnu denticiju pacijenta.

7. ZAKLJUČAK

Spektrofotometrijsko mjerenje gornjih i donjih prednjih zuba i izražavanje rezultata u obliku CIE L*a*b* vrijednosti osiguralo je vrlo precizno i jednostavno određivanje boje zuba. S obzirom na ograničenja ovog istraživanja moguće je zaključiti sljedeće:

1. CIE L*a*b* vrijednosti u dobnoj skupini od 25 do 35 godina nisu se značajno razlikovale u skupini muških i ženskih ispitanika ($P > 0,05$);
2. CIE L*a*b* vrijednosti lijevog i desnog zuba unutar ispitivane skupine nisu se značajno razlikovale ($P > 0,05$);
3. Razlika u boji prednjih zuba u svakoj čeljusti najizraženija je između središnjih sjekutića i očnjaka, a razlika u boji gornjih i donjih zuba izrazito je vidljiva;
4. Pri restaurativnoj ili protetskoj rekonstrukciji potrebno je u obzir uzeti razlike u boji različitih skupina zuba u obje čeljusti.

8. SAŽETAK

Cilj istraživanja: Cilj istraživanja bio je izmjeriti i međusobno usporediti CIE L*a*b* vrijednosti gornjih i donjih prednjih zuba ovisno o spolu ispitanika i unutar svake ispitivane skupine zuba te izračunati razliku u izmjerenim vrijednostima između svih ispitivanih skupina zuba međusobno.

Ispitanici i metode: U istraživanju je sudjelovalo 30 ispitanika (11 muških; 19 ženskih; prosječne dobi od 28,4 godine). Svakom je ispitaniku spektrofotometrijski izmjerena boja u srednjoj trećini svih gornjih i donjih prednjih zuba. Zabilježene su CIE L*a*b* vrijednosti svakog mjerenja i izračunata je razlika u boji (ΔE).

Rezultati: Razlika u CIE L*a*b* vrijednostima po spolu i unutar svake ispitivane skupine zuba nije pronađena ($P > 0,05$). U obje je čeljusti najmanja razlika u boji ($\Delta E = 1,4 - 1,7$) postojala između središnjih i lateralnih sjekutića, a najveća između središnjih sjekutića i očnjaka ($\Delta E = 3,7 - 4,2$). Očnjaci su bili svjetliji, ali intenzivnije žute boje. Razlika između gornjih i donjih skupina zubi bila je gotovo tri puta veća od praga prihvatljivosti. Donji zubi bili su svjetliji, ali također intenzivnije žuti od gornjih.

Zaključak: CIE L*a*b* vrijednosti gornjih i donjih zuba međusobno se razlikuju i to je potrebno uzeti u obzir pri svakoj estetskoj restaurativnoj ili protetskoj rekonstrukciji zuba u visoko estetskoj zoni kako bi se postigao potpuno prirodni izgled nadomještenog zuba izrađenog iz kompozitnog ili keramičkog materijala.

Ključne riječi: boja zuba; CIE L*a*b* sustav; očnjaci; sjekutići

9. SUMMARY

Digital spectrophotometric assessment of the color of the natural upper and lower front teeth

Objectives: The aim of the research was to measure and compare CIE L*a*b* values of upper and lower front teeth depending on the gender and within each examined group of teeth and to calculate the difference in measured values between all examined groups of teeth.

Participants and Methods: Thirty subjects participated in the research (11 men and 19 women: average age 28,4 years). The color was measured spectrophotometrically for each subject in the middle third of all upper and lower front teeth. The CIE L*a*b* values of each measurement were recorded and the color difference (ΔE) was calculated.

Results: A difference in CIE L*a*b* values by gender and within each examined group of teeth was not found ($P > 0,05$). In both jaws, the smallest difference in color ($\Delta E = 1,4 - 1,7$) existed between the central and lateral incisors, while the largest difference was found between the central incisors and canines ($\Delta E = 3,7 - 4,2$). The canines were lighter but with a more intense yellow color. The difference between the upper and lower groups of teeth was almost three times greater than the acceptability threshold. The lower teeth were lighter but also more intensely yellow than the upper ones.

Conclusion: The CIE L*a*b* values of the upper and lower teeth differ from each other and this must be taken into account during any aesthetic restorative or prosthetic reconstruction of a tooth in a highly aesthetic zone in order to achieve a completely natural appearance of a replaced tooth made of composite or ceramic material.

Keywords: canines; CIE L*a*b* system; incisors; tooth color

10. LITERATURA

1. Medeiros JA, Pecho OE, Pérez MM, Carrillo-Pérez F, Herrera LJ, Della Bona A. Influence of background color on color perception in dentistry. *J Dent*. 2021;108:103640.
2. Shamma M, Alla RK. Color and shade matching in dentistry. *Trends Biomater Artif Organs*. 2011;25(4):172-5.
3. Ragain JC. A Review of Color Science in Dentistry: The Process of Color Vision. *J Dent Oral Disord Ther*. 2015;3(1):1-4.
4. Judd DB and Wyszecki G. *Color in business, science, and industry*. 3. izd. New York: Wiley and Sons;1975.
5. Stephen J. Precision shade technology: Contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent*. 2002;14:79-83.
6. Kovačević Pavičić D, Tomišić M, Simonić-Kocijan S, Lajnert V. Procjena boje zuba. *Medicina Fluminensis*. 2018;54(1):28-34.
7. Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. *Dent Clin North Am*. 2004;48:341–58.
8. Sikri VK. Color: Implications in dentistry. *J Conserv Dent*. 2010;13(4):249-55.
9. Aswini KK, Ramanarayanan V, Rejithan A, Sajeev R, Suresh R. The effect of gender and clinical experience on shade perception. *J Esthet Restor Dent*. 2019;31(6):608-12.
10. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, i sur. Does gender and experience influence shade matching quality?. *J Dent*. 2009;37(1):40-4.
11. Munsell AH. *A color notation*. 11. izd. Baltimore: Munsell Color Co.;1961.
12. Ragain JC. A review of color science in dentistry: colorimetry and color space. *J Dent Oral Discord Ther*. 2016;4(1):1-5.
13. CIE Publication 015:2004. *Colorimetry*. 3. izd. Vienna: CIE Central Buerau, 2004.
14. Hunt RWG. *Measuring Colour*. New York: Ellis Horwood; 1991.
15. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. *J Dent*. 2008;36(1):2-7.
16. Joiner A, Luo W. Tooth colour and whiteness: A review. *J Dent*. 2017;67:3-10.
17. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent*. 2004;32(1):3-12.

18. Zlatarić Knezović D. Osnove estetike u dentalnoj medicini. 1. Izdanje. Zagreb: Hrvatska komora dentalne medicine, 2013.
19. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry; The science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23:467–79.
20. Alnusayri MO, Sghaireen MG, Mathew M, Alzarea B, Bandela V. Shade Selection in Esthetic Dentistry: A Review. *Cureus.* 2022;14(3):23331.
21. Borse S, Chaware SH. Tooth shade analysis and selection in prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc.* 2020;20(2):131-140.
22. Tabatabaian F, Beyabanaki E, Alirezaei P, Epakchi S. Visual and digital tooth shade selection methods, related effective factors and conditions, and their accuracy and precision: A literature review. *J Esthet Restor Dent.* 2021;33(8):1084-104.
23. Todorov R, Yordanov B, Peev T, Zlatev S: Shade guides used in the dental practice. *J of IMAB.* 2020;26:3168-73.
24. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38(2):2-16.
25. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, Sakai M, Takahashi H, Tashkandi E, Perez Mdel M. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent.* 2015;27(1):1-9.
26. Karaman T, Altintas E, Eser B, Talo Yildirim T, Oztekin F, Bozoglan A. Spectrophotometric Evaluation of Anterior Maxillary Tooth Color Distribution According to Age and Gender. *J Prosthodont.* 2019;28(1):96-102.
27. Tashkandi E. Consistency in color parameters of a commonly used shade guide. *Saudi Dent J.* 2010;22(1):7-11.
28. Đozić A, Kleverlaan CJ, Aartman IH, Feilzer AJ. Relations in color among maxillary incisors and canines. *Dent Mater.* 2005;21(3):187-91.
29. Lehmann K, Devigus A, Wentaschek S, Igiel C, Scheller H, Paravina R. Comparison of visual shade matching and electronic color measurement device. *Int J Esthet Dent.* 2017;12(3):396-404.
30. Posavec I, Prpić V, Knezović Zlatarić D. Influence of Light Conditions and Light Sources on Clinical Measurement of Natural Teeth Color using VITA Easyshade Advance 4,0 ® Spectrophotometer. Pilot Study. *Acta Stomatol Croat.* 2016;50(4):337-47.

31. Klotz AL, Habibi Y, Corcodel N, Rammelsberg P, Hassel AJ, Zenthöfer A. Laboratory and clinical reliability of two spectrophotometers. *J Esthet Restor Dent.* 2022;34(2):369-73.
32. Ebeid K, Sabet A, Della Bona A. Accuracy and repeatability of different intraoral scanners on shade determination. *J Esthet Restor Dent.* 2021;33(6):844-8.
33. Schwabacher WB, Goodkind RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *J Prosthet Dent.* 1990;64(4):425-31.
34. Gozalo-Diaz D, Johnston WM, Wee AG. Estimating the color of maxillary central incisors based on age and gender. *J Prosthet Dent.* 2008;100(2):93-8.
35. Chenchugopal M, Venumbaka NR, Vijayakumar P, Selvaraju G, Rajendran S, Elangovan A. Shade selection of primary maxillary anterior teeth in children using Vitapan classical shade guide. *Indian J Dent Res.* 2016;27(6):657-60.
36. Knezović Zlatarić D, Žagar M, Illeš D. A clinical study assessing the short-term efficacy of combined in-office/at-home whitening treatment. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31(2):140-6.
37. Yu H, Zhao Y, Li J, Luo T, Gao J, Liu H i sur. Minimal invasive microscopic tooth preparation in esthetic restoration: a specialist consensus. *Int J Oral Sci.* 2019;11(3):31.