

LIMITATIONS AND CHALLENGES OF SPECTROPHOTOMETRIC COLOS ANALYSIS OF FIXED PROSTHETIC RESTORATIONS

Ljubica Prosheva Pelivanova

Faculty of Medical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia,

ljubica.proseva@ugd.edu.mk

Kiro Papakoca

Faculty of Medical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia,

kiro.papakoca@ugd.edu.mk

Abstract: Spectrophotometric color analysis has become an indispensable tool in modern dentistry, particularly within the field of fixed prosthodontics, where the demand for highly esthetic restorations continues to grow. With the advancement of digital technologies, spectrophotometers enable objective and quantitative measurement of color differences (ΔE), enhancing the material selection process, optimizing fabrication protocols, and reducing subjective human bias in shade matching. Despite these technological innovations, spectrophotometry in both dental research and clinical practice faces significant methodological limitations and challenges that can compromise the accuracy and reliability of the obtained data.

The precision and reproducibility of spectrophotometric measurements are influenced by multiple factors, including lighting conditions, incidence angle, surface texture, gloss level, sample condition, operator handling, and environmental parameters. In laboratory settings, these variables are minimized through standardized lighting, controlled temperature, and consistent sample positioning, allowing for more accurate and reliable results. Conversely, clinical measurements are performed in dynamic environments, often affected by ambient light, saliva presence, patient movement, and operator variability — all of which may compromise the consistency of spectrophotometric readings.

One of the key concerns addressed in this review is the transferability of laboratory results into clinical scenarios, highlighting the gap between controlled experimental conditions and real-world clinical practice. Such variations can directly impact ΔE values and, consequently, influence esthetic outcomes and treatment decisions in prosthodontic practice. The purpose of this literature review is to provide a comprehensive analysis of current scientific evidence regarding the limitations and challenges of spectrophotometric color analysis in fixed prosthodontics. The paper compares laboratory and clinical measurement conditions, examines methodological approaches adopted in recent studies, discusses the constraints of available digital devices, and offers practical recommendations for improving measurement accuracy in daily dental practice. Furthermore, it emphasizes the need for continued research aimed at developing standardized protocols and enhancing the clinical applicability of spectrophotometric color analysis in esthetic dentistry.

Keywords: spectrophotometry, color, fixed prosthodontics, limitations, clinical application

ОГРАНИЧУВАЊА И ПРЕДИЗВИЦИ НА СПЕКТРОФОТОМЕТРИСКАТА АНАЛИЗА НА БОЈА КАЈ ФИКСНО-ПРОТЕТСКИ КОНСТРУКЦИИ

Љубица Прошева Пеливанова

Факултет за медицински науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија,

ljubica.proseva@ugd.edu.mk

Киро Папакоча

Факултет за медицински науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија,

kiro.papakoca@ugd.edu.mk

Резиме: Спектрофотометарската анализа на боја во стоматологијата, особено во рамките на фиксната протетика, денес претставува едно од најкористените средства за објективно и прецизно оценување на бојните својства на стоматолошките материјали. Благодарение на технолошкиот напредок, дигиталните спектрофотометри овозможуваат квантитативно мерење на разликите во бојата (ΔE), со што се подобрува изборот на материјали и изработката на естетски реставрации, а се намалува субјективноста на човечкиот фактор. Меѓутоа, и покрај потенцијалот за зголемена точност, спектрофотометријата во стоматолошката

пракса и научните истражувања се соочува со низа методолошки ограничувања и предизвици кои ја намалуваат веродостојноста на добиените податоци.

Точноста и репродуктивноста на спектрофотометарските мерења се подложни на влијание од повеќе фактори, како што се квалитетот и видот на светлината при мерењето, аголот на инциденција, површинската храпавост и текстурата на материјалот, степенот на сјај, состојбата на примерокот, техничката изведба на операторот и влијанието на околините услови. Во лабораториски услови, каде што се овозможува стандардизирано осветлување, стабилна температура и прецизна поставеност на примероците, овие фактори можат да се контролираат и да се минимизира нивното влијание. Спротивно на тоа, во клиничката практика, спектрофотометарските мерења се изведуваат во средина каде што варијабилноста на амбиенталните услови, присуството на плунка, движењата на пациентот, како и личниот пристап на операторот значително го зголемуваат ризикот од добивање на нерепродуктивни резултати.

Особено значајно е прашањето на преносливоста на лабораториските резултати во клиничката практика, каде што често се јавува јаз помеѓу контролираните експериментални услови и реалните клинички сценарија. Овие варијации директно влијаат врз вредностите на ΔE , што може да има значајни последици врз естетскиот исход на терапијата и врз донесувањето на клинички одлуки.

Целта на овој прегледен труд е да понуди систематска анализа на актуелните научни сознанија поврзани со ограничувањата и предизвиците на спектрофотометарската анализа на боја кај фиксно-протетските конструкции. Трудот дава осврт на разликите помеѓу лабораториските и клиничките услови за мерење, ја анализира методолошката поставеност на современите студии, ги дискутира ограничувањата на актуелните дигитални уреди и дава практични препораки за подобрување на прецизноста на мерењата во секојдневната стоматолошка практика. Дополнително, се истакнува потребата од понатамошни истражувања насочени кон развој на стандардизирани протоколи за спектрофотометарска анализа и подобрување на нејзината клиничка применливост.

Клучни зборови: спектрофотометрија, боја, фиксна протетика, ограничувања, клиничка практика

1. ВОВЕД

Современата стоматологија, особено во областа на фиксна протетика, поставува високи барања за естетика, функција и биокомпатибилност на протетските конструкции. Бојата на стоматолошките реставрации претставува еден од најважните критериуми за клинички успех, бидејќи директно влијае врз естетското прифаќање од страна на пациентите (Paravina, 2009). Затоа, точната проценка и репродукција на бојата е суштински аспект на современата стоматолошка практика.

Со цел да се намали субјективноста на визуелната проценка, се развиваат и применуваат различни инструменти за инструментално мерење на бојата, меѓу кои спектрофотометарите заземаат централно место. Спектрофотометарот овозможува објективно, квантитативно мерење на бојните параметри на стоматолошките материјали, преку регистрација на разликите во бојата (ΔE) во согласност со стандардите на CIE-Lab системот (Johnston, 2009; Commission Internationale de l'Eclairage [CIE], 2004). Неговата примена е од особено значење при изборот на материјали, контролата на производствениот процес и оценката на естетските резултати.

И покрај неговата потврдена вредност во научно-истражувачката работа и лабораториската практика, спектрофотометарската анализа на боја се соочува со сериозни методолошки предизвици, особено при нејзина примена во клиничка средина. Повеќе фактори можат да влијаат на точноста, сигурноста и репродуктивноста на спектрофотометарските мерења, вклучувајќи го типот и интензитетот на осветлувањето, аголот на мерење, завршната површинска обработка на материјалот, текстурата, сјајот, влијанието на околината и човечкиот фактор поврзан со операторот (Ghinea et al., 2010; Chu et al., 2010).

Во лабораториските услови, мерењата се спроведуваат под строго контролирани параметри, што овозможува минимизирање на влијанието на надворешните фактори и постигнување на високо ниво на прецизност и репродуктивност (Vichi et al., 2004). Спротивно на тоа, клиничката примена на спектрофотометарот се соочува со бројни ограничувања поврзани со неконтролирани околности, како амбиенталното осветлување, динамичноста на усната празнина, присуството на плунка, движењата на пациентот и индивидуалниот пристап на операторот (Douglas et al., 2007; O'Brien, 2008). Овие услови создаваат потенцијални отстапувања помеѓу лабораториските и клиничките резултати, што може да има влијание врз клиничката одлука и конечниот естетски резултат.

Целта на овој прегледен труд е да се анализираат актуелните научни сознанија за ограничувањата и предизвиците на спектрофотометарската анализа на боја кај фиксно-протетските конструкции. Посебен акцент се става на споредбата помеѓу лабораториските и клиничките услови за мерење, идентификување на клучните фактори што влијаат на точноста на мерењата и разгледување на практичните аспекти за нивна

оптимизација. Исто така, трудот ги нагласува потребите за развој на стандарди и протоколи кои би овозможиле поголема клиничка применливост на спектрофотометријата во естетската стоматологија.

2. СПЕКТРОФОТОМЕТАРСКА АНАЛИЗА НА БОЈА- ОСНОВИ И ПРИМЕНА

Спектрофотометријата претставува аналитичка техника која овозможува објективно мерење на бојата преку анализа на светлината што се рефлектира, апсорбира или пренесува од површината на испитуваниот материјал. За разлика од визуелната проценка, која е подложна на субјективно толкување, спектрофотометарската анализа овозможува квантитативно определување на бојните параметри врз основа на стандарди воспоставени од Меѓународната комисија за осветлување (CIE) (CIE, 2004, Alvarado-Lorenzo et al., 2024).

Основата на спектрофотометријата се заснова на мерење на интензитетот на светлината во определени делови од спектарот. При контакт со површината на стоматолошкиот материјал, светлината се рефлектира, дифузно се расфрла, апсорбира или делумно се пренесува низ материјалот. Спектрофотометарот ја мери рефлектираната светлина во одреден спектрален опсег и ги претвора податоците во нумерички вредности според CIE-Lab колориметрискиот систем, кој ги дефинира бојните координати L^* (светлост), a^* (зелено-црвено) и b^* (сино-жолто) (Johnston, 2009).

Во стоматолошката лабораториска практика, спектрофотометарите се користат за прецизно мерење на бојните својства на различни материјали – керамики, композити, циркониум оксид, акрилатни материјали – со цел да се обезбеди контролирано следење на нивната естетика пред и по различни третмани. Прецизните лабораториски мерења се вршат во услови на контролирано осветлување, фиксирана поставеност на примерокот и стабилни околински параметри, со што се минимизира варијабилноста и се овозможува репродуктивност на добиените резултати (Vichi et al., 2004).

Во клиничката практика, спектрофотометарите наоѓаат примена при одредување на бојата на забите, проценка на бојата на привремени и трајни реставрации, контрола на протетските конструкции при проба, како и во мониторингот на промените на бојата кај пациенти во текот на третманот. Меѓу најкористените се уредите базирани на контактна или безконтактна спектрофотометрија, при што се разликуваат по типот на светлински извор, сензори и метод на обработка на податоци (Paravina et al., 2015).

Примена на спектрофотометарот во клиничката пракса носи значајни предности, како што се намалување на субјективната грешка, подобрување на комуникацијата помеѓу стоматологот и денталниот техничар, како и можноста за документација и следење на естетските параметри низ времето. Сепак, точноста на спектрофотометарските мерења во клинички услови зависи од бројни варијабли, вклучително и од самиот протокол на мерење и обученоста на операторот (Ghinea et al., 2010).

Современите истражувања препознаваат спектрофотометарот како вредна алатка во естетската стоматологија, но истовремено укажуваат на потребата од внимателна примена, особено кога се споредуваат лабораториски и клинички резултати. Разбирањето на основните принципи и правилната примена на спектрофотометријата се неопходни предуслови за обезбедување на точни и клинички релевантни резултати.

3. ФАКТОРИ ШТО ВЛИЈААТ НА ТОЧНОСТА НА СПЕКТРОФОТОМЕТАРСКИТЕ МЕРЕЊА

Иако спектрофотометарската анализа се смета за еден од најпрецизните методи за определување на бојата во стоматологијата, повеќе фактори можат значително да влијаат врз точноста и репродуктивноста на добиените резултати. Овие фактори се поврзани со условите на мерење, карактеристиките на површината на материјалите, параметрите на околината и техниката на операторот.

3.1 Осветлување и светлосни услови Квалитетот и видот на светлината претставуваат едни од најзначајните влијателни фактори при спектрофотометарските мерења. Во идеални услови, мерењата се вршат со стандардизирани извори на светлина, како што се D65 или A типот на светлосен извор, кои обезбедуваат контролирана спектрална дистрибуција (CIE, 2004). Промените во амбиенталното осветлување, употребата на различни извори на светлина или варијациите во интензитетот директно влијаат на резултатите, особено во клинички услови каде стандардизацијата е тешко применлива (Paravina et al., 2009).

3.2 Геометрија и агол на мерење Геометријата на мерењето се однесува на односот помеѓу светлосниот извор, примерокот и сензорот на уредот. Во стоматологијата најчесто се користат 45/0 или d/8 геометриски конфигурации, при што секоја од нив има специфични карактеристики за детекција на боја и сјај (Johnston, 2009). Мали промени во аголот на поставување на уредот во однос на површината на примерокот можат да предизвикаат значителни отстапувања во добиените вредности, што е особено изразено во клиничка практика.

3.3 Површинска текстура и завршна обработка Текстурата на површината и видот на завршната обработка директно влијаат на оптичките својства на материјалот, како што се рефлексија, расфрлање и апсорпција на светлина. Полирањето, глазирањето или третманите на површината ја менуваат способноста на материјалот да рефлектира светлина, што може да резултира со различни спектрофотометарски вредности, дури и при идентична боја на основниот материјал (Vichi et al., 2004). Храпавоста, микро-структурата и присуството на површински неправилности се препознаени како клучни фактори за мерењата (Ghinea et al., 2010).

3.4 Оператор и човечки фактор Иако спектрофотометарот претставува инструмент за објективно мерење, техниката на операторот игра важна улога во добивањето на точни и репродуктивни резултати. Неправилното позиционирање на уредот, различниот притисок, недоволната стабилност или непочитување на производителските упатства можат да доведат до значителни грешки (Paravina et al., 2015). Разликите меѓу операторите се идентификувани како значителен извор на варијабилност, особено во клиничка практика.

3.5 Околински параметри Температурата, влажноста на воздухот и присуството на други надворешни фактори можат да влијаат врз оптичките својства на примерокот и врз функционалноста на спектрофотометарот. Во клиничка средина, дополнителни фактори како плунката, рефлексите од околината и движењата на пациентот создаваат услови во кои прецизното мерење станува сериозно предизвикувачко (Douglas et al., 2007).

4. РАЗЛИКИ ПОМЕЃУ ЛАБОРАТОРИСКИ И КЛИНИЧКИ УСЛОВИ

Точноста и сигурноста на спектрофотометарските мерења во стоматологијата значително зависат од условите под кои се вршат анализите. Додека лабораториските мерења се изведуваат во строго контролирана средина со прецизно дефинирани параметри, клиничката практика се карактеризира со присуство на бројни варијабли кои се тешко контролираат, што создава реални предизвици за пренос на лабораториските резултати во клиничка примена.

4.1 Контролирани лабораториски услови- Лабораториските испитувања на боја се вршат во средини кои обезбедуваат стандардизирано амбиентално осветлување (често користејќи D65 или A светлосен извор), фиксна температура, стабилна влажност и контролирана поставеност на примерокот и уредот. Во вакви услови, примерокот е сув, стабилно поставен, без влијание на плунка, рефлексија од соседни површини или движење на операторот. Овие предуслови обезбедуваат минимално влијание на надворешните фактори и овозможуваат висока репродуктивност на резултатите (Johnston, 2009; Vichi et al., 2004). Во рамките на лабораториските студии, многу истражувања покажале дека спектрофотометарските мерења во контролирани услови имаат висока конзистентност и ниско ниво на варијации, што ги прави идеални за споредбени истражувања и проценка на влијанието на различни површински третмани или материјали (Ghinea et al., 2010).

4.2 Варијабилност во клиничката средина - Во клиничките услови, спектрофотометарските мерења се изведуваат во динамична средина, изложени на бројни неконтролирани влијанија. Амбиенталното светло може да варира во зависност од положбата на стоматолошката столица, времето на денот, присуството на природна или вештачка светлина, како и рефлексите од околните површини (Paravina et al., 2009). Дополнително, присуството на плунка на површината на забите или протетските конструкции, различната положба на пациентот, движењата при мерење, како и варијациите во позиционирањето на спектрофотометарот од страна на операторот, претставуваат значајни извори на варијабилност (Douglas et al., 2007). Овие услови често резултираат со отстапувања во добиените ΔE вредности кои, иако можеби се статистички мали, во клинички контекст можат да бидат естетски неприфатливи.

4.3 Последици врз ΔE вредностите - ΔE вредноста претставува параметар кој ја изразува разликата помеѓу две бојни точки во тридимензионален простор според CIE-Lab системот. Во лабораториски услови, прецизните мерења овозможуваат да се добијат ΔE вредности кои точно ја одразуваат разликата што би ја перцепирало човечкото око (Paravina et al., 2015). Сепак, во клиничка пракса, присуството на неконтролирани фактори често води кон добивање на ΔE вредности што не соодветствуваат на реалната перцепција на боја или не се во согласност со клиничките прагови на прифатливост. Ова ја наметнува потребата од внимателно толкување на резултатите добиени во клинички услови и од постоење на стандардизирани клинички протоколи кои би ја намалиле варијабилноста и го зголемиле практичниот бенефит на спектрофотометријата во стоматологијата

5. ПРАКТИЧНИ ИМПЛИКАЦИИ И ПРЕПОРАКИ ЗА КЛИНИЧКА ПРАКТИКА

Примена на спектрофотометарската анализа на боја во секојдневната клиничка стоматолошка пракса нуди значајни предности, особено во подобрувањето на естетскиот резултат, намалувањето на субјективните варијации и оптимизацијата на комуникацијата меѓу стоматологот и денталниот техничар. Сепак, методолошките ограничувања кои произлегуваат од специфичноста на клиничката средина наметнуваат потреба од внимателно планирање и примена на соодветни стратегии за минимизирање на влијанието на надворешните фактори.

5.1 Минимизирање на влијанието на факторите на мерење

За да се постигне максимална точност при спектрофотометарските мерења во клинички услови, потребно е да се следат неколку клучни препораки:

- **Изведување на мерењата под стандардизирано осветлување**, или при природна дневна светлина, без директна сончева експозиција (Pereira et al., 2022).
- **Обезбедување стабилна положба на пациентот и уредот**, со внимателно позиционирање на спектрофотометарот под препорачан агол и стабилен контакт со површината.
- **Отстранување на плунка и влажноста од површината на забот или протетската конструкција** пред мерење, користејќи стерилен газ или воздух (Nacali, Korkut & Yanikoglu 2025)
- **Следење на производителските упатства за користење на уредот**, особено во однос на аголот, притисокот и бројот на последователни мерења (Liberato et al., 2021).

5.2 Практична примена на спектрофотометарот во клинички контекст- Иако инструменталното мерење значително ја зголемува објективноста во одредувањето на бојата, неговата примена треба да биде придружена со професионална проценка и интеграција со визуелната анализа. Комбинираниот пристап е препорачан како најсоодветен за постигнување на естетски прифатлив резултат (Alghazali et al., 2019). Спектрофотометарот треба да се гледа како помошно средство кое овозможува систематско следење на бојата, а не како единствен инструмент за донесување на клинички одлуки.

5.3 Потреба од стандардизација и протоколи- Еден од најголемите предизвици во примената на спектрофотометарските мерења е недостигот на унифицирани клинички протоколи. Современите истражувања препорачуваат развој на стандарди за клиничка употреба на спектрофотометарот, кои ќе ги дефинираат условите за мерење, бројот на повторувања и постапката за интерпретација на добиените ΔE вредности (Alshali et al., 2021). Ваквите стандарди ќе овозможат намалување на варијабилноста, подобрување на предвидливоста на естетските резултати и олеснување на меѓуклиничката и лабораториската комуникација.

6. НАСОКИ ЗА ИДНО ИСТРАЖУВАЊЕ

И покрај бројните студии што ја опфаќаат спектрофотометарската анализа на боја во стоматологијата, постојат значајни празнини во истражувањето, особено во делот на клиничката примена и стандардизација на методологијата. Една од клучните насоки за идно истражување е развојот на унифицирани клинички протоколи што ќе вклучуваат стандарди за осветлување, позиционирање на спектрофотометарот, број на последователни мерења и проценка на прифатливи ΔE граници во клиничка средина. Примена на вакви стандарди би овозможила подобра споредливост на резултатите меѓу различни студии и унапредување на клиничката пракса (Alshali et al., 2021). Дополнително, потребни се повеќе клинички истражувања во реални стоматолошки услови, кои ќе ги евалуираат факторите на влијание како што се амбиенталното светло, плунката, операторскиот фактор и варијабилноста на пациентите. Повеќето досегашни податоци се добиени од *in vitro* студии, кои, иако корисни, не ја рефлектираат целосно комплексноста на клиничката средина (Liberato et al., 2021). Исто така, идентификувана е потребата од развој на нови генерации спектрофотометри со подобрени адаптации за клиничка употреба, автоматизирани функции за стабилизација, интелигентно препознавање на позицијата и можност за калибрација во клинички услови (Pereira et al., 2022). Конечно, треба да се поттикнуваат интердисциплинарни истражувања кои ќе ги комбинираат стоматологијата, инженерството и информатичката технологија во развојот на нови системи за анализа на боја, со цел постигнување на повисок степен на точност, автоматизација и клиничка применливост.

7. ЗАКЛУЧОК

Спектрофотометарската анализа на боја претставува моќна алатка во современата стоматологија, овозможувајќи објективна и репродуктивна проценка на бојните својства на стоматолошките материјали. Непреченото интегрирање на спектрофотометарот во клиничката практика, сепак, се соочува со бројни предизвици поврзани со контролата на условите на мерење, влијанието на околинските фактори и

операторскиот фактор. Постоечките научни докази укажуваат дека, за постигнување на прецизни и клинички релевантни резултати, неопходно е мерењата да се изведуваат под строго дефинирани услови, со почитување на стандардизирани протоколи и со целосна информираност за ограничувањата на методот. Комбинацијата на инструментално и визуелно одредување на бојата се препознава како најдобар пристап за клиничка примена. Понатамошните истражувања треба да бидат насочени кон развој на унифицирани клинички упатства, подобрување на технологијата на спектрофотометрија и проширување на базата на докази за факторите кои влијаат на точноста на мерењата. Со тоа ќе се овозможи поголема сигурност во клиничките одлуки и ќе се придонесе кон подобрување на естетските резултати во фиксната протетика и естетската стоматологија.

ЛИТЕРАТУРА

- Alvarado-Lorenzo, A., Criado-Pérez, L., Cano-Rosás, M., Lozano-García, E., López-Palafox, J., & Alvarado-Lorenzo, M. (2024). Clinical comparative study of shade measurement using two methods: dental guides and spectrophotometry. *Biomedicines*, 12(4), 825. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12040825>
- Alghazali, N., O'Sullivan, C., Gonzalez, J. A., & Lippert, F. (2019). Instrumental measurement of colour stability of resin composites in vitro. *Journal of Dentistry*, 82, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.01.002>
- Alshali, R. Z., Salim, N. A., Satterthwaite, J. D., & Silikas, N. (2021). The influence of clinical protocols on spectrophotometric shade matching: A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(8), 1107–1115. <https://doi.org/10.1111/jerd.12833>
- Chu, S. J., Trushkowsky, R. D., & Paravina, R. D. (2010). Dental color matching instruments and systems. *Journal of Dental Research*, 89(1), 143–153. <https://doi.org/10.1177/0022034509359407>
- Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). (2004). *Colorimetry* (3rd ed.). Vienna: CIE Central Bureau.
- Douglas, R. D., & Steinhauer, T. J. (2007). Clinical evaluation of color matching using visual and instrumental methods. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 97(2), 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2007.01.012>
- Ghinea, R., Pérez, M. M., Herrera, L. J., Rivas, M. J., Yebra, A., Paravina, R. D., & Pérez, C. (2010). Color difference thresholds in dental ceramics. *Journal of Dentistry*, 38(2), e57–e64. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.004>
- Haciali, C., Korkut, B., & Yanikoglu, F. (2025). Clinical assessment of dental color during dehydration and rehydration by various dental photography techniques. *Odontology*. <https://doi.org/10.1007/s10266-025-01081-w>
- Johnston, W. M. (2009). Color measurement in dentistry. *Journal of Dentistry*, 37(Suppl 1), e2–e6. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.01.007>
- Liberato, W. F., Barreto, I. C. S., Queiroz, J. R. B., & Andrade, A. K. M. (2021). Effect of different measurement conditions on the color of dental restorative materials using spectrophotometer. *Journal of Prosthodontics*, 30(1), 60–67. <https://doi.org/10.1111/jopr.13282>
- O'Brien, W. J. (2008). *Dental materials and their selection* (4th ed.). Chicago: Quintessence Publishing.
- Paravina, R. D. (2009). Performance assessment of dental shade guides. *Journal of Dentistry*, 37(Suppl 1), e15–e20. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.01.009>
- Paravina, R. D., Powers, J. M., & Fay, R. M. (2009). Color comparison of two shade guides. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 21(4), 225–232. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2009.00272.x>
- Paravina, R. D., Ghinea, R., Herrera, L. J., et al. (2015). Visual and instrumental shade matching using a new 3D Master Toothguide prototype. *Journal of Dentistry*, 43(9), 1170–1178. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.06.003>
- Pereira, R. P., Ardu, S., Krejci, I., & Dietschi, D. (2022). Spectrophotometric shade analysis: Influence of surface conditions and different devices. *Clinical Oral Investigations*, 26(4), 3793–3803. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04257-7>
- Vichi, A., Ferrari, M., & Davidson, C. L. (2004). Color and opacity variations in resin-based composites after aging. *Dental Materials*, 20(6), 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.08.009>