

УДК 616.314-008.4-072

DOI <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2026.1.11>**М.М. Прокопенко,**

аспірант кафедри терапевтичної стоматології  
Полтавський державний медичний університет  
вул. Шевченка, 23 м. Полтава, індекс 36011  
[m.prokopenko@pdmu.edu.ua](mailto:m.prokopenko@pdmu.edu.ua)  
ORCID ID: 0009-0008-8470-0894

**І.Ю. Попович,**

доктор медичних наук,  
професор кафедри терапевтичної стоматології  
Полтавський державний медичний університет  
вул. Шевченка, 23 м. Полтава, індекс 36011  
[ivanstomat@ukr.net](mailto:ivanstomat@ukr.net)  
ORCID ID: 0000-0003-1720-095X

## ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ ЦИФРОВИХ ТА АПАРАТНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ЗУБІВ

**Мета дослідження.** Метою дослідження було порівняння точності цифрових та апаратних методів визначення кольору зубів у клінічних умовах з урахуванням впливу різних типів освітлення та параметрів цифрової обробки зображень, а також оцінка можливості їх комбінованого використання для підвищення відтворюваності результатів. **Матеріали та методи дослідження.** У дослідженні взяли участь 60 пацієнтів віком від 17 до 55 років, розподілених на три групи по 20 осіб залежно від методу первинного визначення кольору. У першій групі використовували колориметр CM-200S, у другій – інтраоральний 3D-сканер Shining 3D, у третій – проводили паралельні вимірювання обома методами. Загалом виконано 120 фотосесій за різних умов освітлення (природне денне, холодне та тепле штучне, стоматологічна лампа, фотосвітло). Для аналізу кольору застосовано простір CIELAB із розрахунком параметрів  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  та показників  $\Delta E$  (CIE76 і CIEDE2000). Обробку цифрових зображень здійснювали з використанням програмного забезпечення darktable та CloudCompare. Для стандартизації аналізу розроблено авторський програмний застосунок Lab GUI, який забезпечує інтерактивний вибір зон інтересу та автоматизований розрахунок кольорних показників. Статистичну оцінку проводили шляхом визначення середніх значень  $\Delta E$  та аналізу варіабельності параметрів за різних умов освітлення. **Наукова новизна.** Уперше здійснено комплексне порівняння апаратних (колориметрія, 3D-сканування) та цифрових фотометричних методів із одночасною оцінкою впливу спектральних характеристик та інтенсивності освітлення на результати визначення кольору зубів. Запропоновано алгоритм комбінованого підходу до shade matching із використанням програмного застосунку Lab GUI як інструмента стандартизації аналізу та мінімізації суб'єктивного впливу оператора. Отримані дані демонструють практичну еквівалентність апаратних методів ( $\Delta E = 0,25$ ) та визначають межі клінічно допустимих відхилень цифрових

показників залежно від типу освітлення. **Висновки.** Колориметр та інтраоральний 3D-сканер продемонстрували високу узгодженість результатів і можуть розглядатися як надійні джерела еталонних кольорових характеристик. Цифровий аналіз фотографій є чутливим до умов освітлення: найточніші результати отримано за нейтрального денного світла, тоді як теплі, холодні та комбіновані джерела спричиняють систематичні зсуви параметрів  $a^*$  та  $b^*$  і зростання  $\Delta E$ . Оптимальним є комбінований підхід із використанням апаратних методів як еталонних та цифрових – як клінічно гнучкого інструменту за умови суворой стандартизації умов зйомки та обробки. **Ключові слова:** колориметрія, цифрова фотографія, CIELAB, 3D-сканування, освітлення, відтінок зуба.

**М.М. Prokopenko,**

Postgraduate Student at the Department  
of Therapeutic Dentistry,  
Department of Therapeutic Dentistry  
Poltava State Medical University  
23 Shevchenka street, Poltava, Ukraine, postal code 36011,  
[m.prokopenko@pdmu.edu.ua](mailto:m.prokopenko@pdmu.edu.ua)  
ORCID ID: 0009-0008-8470-0894

**I.Yu. Popovych,**

Doctor of Medical Sciences,  
Professor at the Department of Therapeutic Dentistry  
Poltava State Medical University  
23 Shevchenka street, Poltava, Ukraine, postal code 36011,  
[ivanstomat@ukr.net](mailto:ivanstomat@ukr.net)  
ORCID ID: 0000-0003-1720-095X

## COMPARISON OF THE ACCURACY OF DIGITAL AND INSTRUMENTAL METHODS FOR TOOTH SHADE DETERMINATION

**Purpose.** The aim of this study was to compare the accuracy of digital and instrumental methods for tooth color determination under clinical conditions, considering the influence of different lighting environments and digital image processing parameters, and to evaluate the feasibility of their combined use to improve reproducibility. **Materials and Methods.** Sixty patients aged 17–55 years were enrolled and divided into three groups according to the primary shade selection method. In the first group, measurements were performed using a CM-200S colorimeter; in the second group, an intraoral 3D scanner (Shining 3D) was applied; in the third group, parallel measurements with both devices were conducted. A total of 120 photo sessions were performed under various lighting conditions, including natural daylight, warm and cool artificial lighting, dental chair light, and special photolight. Color parameters were analyzed in the CIELAB color space ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) with  $\Delta E$  values calculated using both CIE76 and CIEDE2000 formulas. Digital images were processed using darktable and CloudCompare software. A proprietary Lab GUI application was developed to standardize region-of-interest selection and automate color parameter computation. Statistical analysis



included calculation of mean  $\Delta E$  values and evaluation of variability under different lighting scenarios. **Scientific novelty.** This study provides a comprehensive comparison of instrumental (colorimetry and 3D scanning) and digital photographic methods with simultaneous assessment of spectral composition and illuminance intensity effects on tooth color determination. A combined shade-matching algorithm is proposed, integrating instrumental reference data with digital analysis through the Lab GUI software to minimize operator-related bias. Instrumental methods demonstrated practical equivalence ( $\Delta E = 0.25$ ), while digital measurements revealed lighting-dependent variability thresholds relevant for clinical interpretation. **Conclusions.** Both the colorimeter and the intraoral 3D scanner showed high agreement and can be considered reliable reference tools for tooth color assessment. Digital photographic analysis is significantly influenced by lighting conditions: the most stable results were achieved under neutral daylight, whereas warm, cool, and mixed lighting produced systematic shifts in  $a^*$  and  $b^*$  parameters and increased  $\Delta E$  values. A combined approach, using instrumental methods as reference and digital techniques as flexible clinical tools under strict standardization, appears to be the most rational strategy for accurate shade matching in restorative dentistry. **Key words:** colorimetry, digital photography, CIELAB, intraoral scanner, lighting condition, tooth shade.

**Вступ.** Точне відтворення відтінку зуба є одним із ключових чинників естетичного успіху реставрацій у сучасній стоматології. Попри значний прогрес у розвитку реставраційних матеріалів і технологій, саме помилки на етапі визначення кольору залишаються однією з найчастіших причин незадовільного клінічного результату.

Традиційний візуальний підбір відтінку за стандартними шкалами, хоча й широко застосовується в повсякденній практиці, характеризується високим рівнем суб'єктивності та залежить від індивідуальних особливостей колірної зору лікаря, явищ зорової адаптації, метамеризму, умов освітлення, кольору навколишнього фону та оптичних властивостей емалі. [3, с. 383–396, 4] На сьогоднішній день актуальним є розробка процесу об'єктивізації за рахунок впровадження цифрових та інструментальних методів вимірювання кольору зуба. [1]

Попри активне впровадження цифрових технологій, підбір відтінку в реальних клінічних умовах залишається складним завданням. Це зумовлено оптичною неоднорідністю зубних тканин, їх напівпрозорістю, варіабельністю поверхневої текстури та складною взаємодією світла з емаллю і дентином. Навіть при використанні сучасних цифрових методів ключовим залишається питання стандартизації умов отримання кольорових даних. [2] Велике значення останні роки приділяється використанню штучного інтелекту під час первинного визначення кольору

зуба для майбутньої реставрації. [5, 15] Систематичні огляди останніх років свідчать, що застосування цифрових методів і алгоритмів штучного інтелекту у визначенні відтінку зубів є однією з найдинамічніших тенденцій у сучасній відновній стоматології. [6, с. 519–532]

Тому на сьогоднішній день актуальним є створення доступної для практикуючого лікаря системи, яка на основі науково обґрунтованих даних дозволить максимально точно визначати відтінок зуба для подальшої реставрації з урахуванням впливу освітлення, середовища та використовуваного методу вимірювання.

**Метою** нашого дослідження стало порівняння цифрових та аналогових методів визначення кольору зуба.

**Матеріали і методи.** Для досягнення поставленої мети нами було взято 60 пацієнтів у віці від 17 до 55, які в залежності від методу первинного визначення кольору зуба, були розподілені на три групи по 20 пацієнтів в кожній.

У першій, контрольній, групі первинний замір здійснювався за допомогою колориметра. У другій – з використанням інтраорального 3D-сканера. Для кожного пацієнта в обох групах проводили дві сесії дослідження – денну та вечірню. Вечірні сесії виконувалися строго після заходу сонця з метою мінімізації впливу природного освітлення. Для порівняння точності обох приладів 20 пацієнтам третьої групи було проведено окремі сесії з використанням колориметра і 3D-сканера одночасно. Всього було зроблено 120 фотосесій у всіх трьох групах. Такий підхід узгоджується з даними останніх досліджень, де підкреслюється важливість стандартизації умов вимірювання кольору. [7]

Для коректного визначення і опису кольорів була використана система CIE Lab. [9] Для цього простору нами був розроблений програмного застосунку Lab GUI. Він забезпечує імпорт цифрових фотографій та даних 3D-сканування, інтерактивний вибір зон інтересу, автоматизований розрахунок параметрів  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  та  $\Delta E$ , а також можливість зіставлення цифрових даних з апаратними вимірюваннями.

У дослідженні використовували такі прилади: колориметр CM-200S, люкметр Sthor, інтраоральний 3D-сканер Shining 3D, а також смартфон iPhone 13 для отримання цифрових фотографій.

Визначення кольору здійснювали на основі центрального різця верхньої щелепи. Спочатку проводили фіксацію кольору вестибулярної

поверхні контрольного зуба за допомогою колориметра або 3D-сканера. Вимірювання виконували на поверхні зуба без надлишків ротової рідини. Для підвищення відтворюваності проводили три послідовні вимірювання колориметром або аналізували три окремі ділянки хмари точок на 3D-скані. Останні дослідження підтверджують доцільність використання 3D-сканера для визначення кольору зубів. [8, с. 196–203]

Далі здійснювали фотозйомку вестибулярної поверхні контрольного зуба за різних умов освітлення: природне світло, загальне штучне світло холодного спектра, загальне штучне світло теплого спектра, світло стоматологічної лампи та спеціальне фотосвітло. Вибір цих умов базувався на даних останніх досліджень), які продемонстрували значущий вплив навколишнього освітлення на точність shade matching. [10, 11, с. 1573–1578]

Під час фотозйомки не допускалося пересушування твердих тканин зуба з метою збереження стабільних оптичних властивостей: фотографування проводили протягом однієї хвилини, після чого пацієнт протягом двох хвилин перебував із зімкнутими губами.

Для кожного типу освітлення фіксували показники люксметра з метою оцінки впливу інтенсивності світла на зміну кольорових характеристик цифрових зображень. Вимірювання проводили максимально близько до ротової порожнини пацієнта для отримання коректних значень освітленості.

Усі отримані дані заносили до уніфікованої таблиці, яка містила: початкові значення параметрів  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , отримані за допомогою колориметра або 3D-сканера; мінімальні та максимальні показники люксметра для кожного фото; значення  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , отримані з трьох ділянок вестибулярної поверхні зуба на цифрових зображеннях; а також додаткові параметри фотозйомки. Окремі дослідження вказують на вплив типу пристрою захоплення зображення на результати цифрового аналізу кольору, вони показали, що між різними моделями смартфонів можуть спостерігатися статистично значущі відмінності у координатах CIELAB навіть за однакових умов освітлення. [13, с. 403–412] Також фіксувалися час зйомки та колір стін стоматологічного кабінету. Необхідність урахування факторів навколишнього середовища зумовлена виявленими відмінностями показників при однакових типах освітлення в різних кабінетах.

Для цифрового аналізу фотографій та визначення параметрів кольору у просторі CIELAB використовували програмне забезпечення darktable для ОС Windows. Аналіз кольорових характеристик за даними 3D-сканування виконували з використанням програмного забезпечення CloudCompare.

Оцінку різниці між отриманими кольоровими показниками проводили шляхом розрахунку

значень  $\Delta E$  з використанням формул CIE76 та CIEDE2000, що дозволяє кількісно оцінити клінічно значущі відмінності кольору відповідно до сучасних рекомендацій у стоматологічній колориметрії. [12]

Формули для вираховування:

$$\Delta E_{76} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H}\right)^2} + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H^*}{k_H S_H}\right)$$

Для цього простору нами був розроблений програмне забезпечення Lab GUI. Воно забезпечує імпорт цифрових фотографій та даних 3D-сканування і колориметрії, інтерактивний вибір зон інтересу, автоматизований розрахунок параметрів  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  та  $\Delta E$ , а також можливість зіставлення цифрових даних з апаратними вимірюваннями.

#### Результати дослідження та обговорення.

В результаті проведеного дослідження з'ясовано, що визначення параметрів кольору за допомогою колориметра CM-200S та інтраорального 3D-сканера Shining 3D, продемонструвало високу відтворюваність та узгодженість між методами. Середнє значення  $\Delta E$  між результатами двох приладів становило 0,25, що свідчить про відсутність клінічно значущих відмінностей між апаратними методами визначення відтінку зубів. Це свідчить про практичну еквівалентність отриманих ними даних. Таке значення  $\Delta E$  перебуває значно нижче порогів клінічної помітності, що підтверджує можливість використання обох приладів як надійних джерел еталонних кольорових характеристик зубів [14, с. S1–S9]. Це дозволяє розглядати обидва прилади як надійні джерела еталонних кольорових характеристик зубів.

На відміну від апаратних вимірювань, цифровий аналіз фотографій виявив суттєву чутливість до умов освітлення. Систематичне зростання показника  $L^*$  зі збільшенням інтенсивності світлового потоку відображає фізичні закономірності формування зображення, однак одночасне зростання варіабельності параметрів  $a^*$  та  $b^*$  свідчить про нестабільність колірної інформації за відсутності стандартизації освітлення (таб. 1).

Найбільш стабільні й близькі до апаратних значення  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  отримані при нейтральному денному освітленні, за умови достатньої освітленості та максимально природного спектра випромінювання.

Теплі джерела світла (жовті лампи, теплий спектр) спричиняли зростання показника  $b^*$  (зсув у жовту зону) та, у ряді випадків, зменшення світлості  $L^*$ . На фотографіях зуби виглядали «теплішими» і дещо темнішими, ніж за даними еталонного вимірювання.

Холодні та люмінесцентні джерела призводили до зміщення  $b^*$  у протилежний бік (у бік синюватих відтінків) та могли змінювати  $a^*$ , роблячи колір більш «плоским» і менш природним.

У дуже низьких або надмірно високих значеннях освітленості (lux) різниця  $\Delta E$  між фото- та апаратними даними зростала, що свідчить про небажаність зйомки у таких крайніх умовах без додаткової корекції.

Особливо виражені відхилення спостерігалися за умов комбінованого освітлення, коли одночасно використовувалися декілька джерел світла з різними спектральними характеристиками, таке явище спостерігалось. Навіть за високих значень освітленості (lux) у таких сценаріях реєструвалося зростання  $\Delta E$  між цифровими та апаратними даними, що підкреслює обмеженість використання лише показників інтенсивності світла без урахування його спектрального складу (табл. 2).

Отримані результати також підтвердили важливість урахування внутрішньосерійної варіабельності. Повторні виміри на одній і тій самій вестибулярній поверхні зуба навіть за незмінних умов демонстрували певний розкид значень, що обґрунтовує доцільність усереднення даних та використання кількох контрольних точок при цифровому визначенні кольору.

Використання авторського програмного застосунку Lab GUI дозволило мінімізувати суб'єктивний вплив оператора на етапі обробки зображень, забезпечити єдиний алгоритм аналізу для різних типів вхідних даних та бути проміжною ланкою між апаратними методами та цифровими технологіями і створює передумови для подальшої інтеграції алгоритмів машинного навчання з метою підвищення точності та відтворності shade matching.

Цифровий аналіз фотографій продемонстрував чітку залежність параметра  $L^*$  від інтенсивності освітлення. При збільшенні рівня освітленості

спостерігалось систематичне зростання значень  $L^*$ , тоді як параметри  $a^*$  та  $b^*$  характеризувалися зростанням розкиду значень, особливо за умов комбінованого освітлення.

Узагальнюючи отримані результати, можна констатувати, що оптимальним підходом до визначення відтінку зубів є комбіноване використання апаратних методів як еталонних та цифрових – як гнучкого клінічного інструменту за умови суворої стандартизації умов зйомки та обробки даних. Розроблений Lab GUI у цьому контексті може розглядатися як практичне рішення для впровадження науково обґрунтованих принципів підбору кольору у повсякденну стоматологічну практику. Комбінований підхід до визначення кольору зубів, при якому апаратні методи використовуються як еталонні, а цифрові – як допоміжні, за умови суворої стандартизації умов зйомки та аналізу є найбільш доцільним та оптимальним у практиці лікаря-стоматолога.

**Висновки.** У проведеному дослідженні здійснено комплексну оцінку апаратних та цифрових методів визначення кольору зубів у клінічних умовах з урахуванням впливу освітлення та особливостей цифрової обробки зображень.

Встановлено, що колориметр та інтраоральний 3D-сканер демонструють високу узгодженість результатів, а середнє значення різниці кольору між ними ( $\Delta E = 0,25$ ) свідчить про практичну еквівалентність цих апаратних методів та відсутність клінічно значущих відмінностей. Це дозволяє розглядати обидва прилади як надійні джерела еталонних кольорових характеристик зубів.

Цифрове визначення кольору на основі фотографій виявилось значно більш чутливим до умов освітлення. Найбільш стабільні та близькі до

Таблиця 1

**Залежність параметрів кольору  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  від рівня освітленості під час цифрового визначення відтінку зуба**

Освітленість (lux)	$L^*$	$a^*$ , $b^*$	Коментар
20–40×10	Стабільні	Помірна варіабельність	Одне джерело
40–100×10	Зростання	Підвищена варіабельність	Два джерела
>100×10	Виражене зростання	Висока варіабельність	Комбіноване світло

Таблиця 2

**Вплив різних типів освітлення на значення  $\Delta E$  при цифровому визначенні кольору зубів**

Тип освітлення	Середня $\Delta E$ 3D-сканер	Середня $\Delta E$ колориметр	Характер відхилення
Натуральне (день)	~1–2	~1–2	Найточніше відтворення
Холодне	3–6	3–5	Зменшення a (зеленуватий тон)
Тепле	7–9	6–9	Зростання b (жовтизна)
Змішане (тепле+холодне)	4–6	4–6	Помірне відхилення, залежить від lux
Тьмяне люмінесцентне	>10	>10	Виражений зелений відтінок, низький L

апаратних результати отримано за нейтрального денного освітлення, тоді як теплі, холодні та комбіновані джерела світла призводили до систематичних зсувів параметрів кольору та зростання варіабельності результатів.

Показано, що інтенсивність освітлення суттєво впливає на цифрові параметри кольору, зокрема на показник світлоти  $L^*$ , однак підвищення освітленості не гарантує підвищення точності визначення відтінку без контролю спектральних характеристик світла. Найбільші відхилення зафіксовані за умов комбінованого освітлення з використанням кількох джерел світла.

Аналіз повторних вимірювань підтвердив наявність внутрішньосерійної варіабельності навіть за стабільних умов зйомки, що обґрунтовує доцільність використання усереднення значень та кількох контрольних ділянок при цифровому аналізі кольору.

Розроблений програмний застосунок Lab GUI забезпечив стандартизований підхід до аналізу кольору зубів у просторі CIELAB, мінімізував суб'єктивний вплив оператора та дозволив інтегрувати апаратні й цифрові дані в єдиний алгоритм обробки. Використання такого інструмента створює передумови для підвищення відтворюваності результатів та подальшого розвитку цифрових методів визначення відтінку зубів у клінічній практиці.

Загалом результати дослідження підтверджують доцільність комбінованого підходу до визначення кольору зубів, при якому апаратні методи використовуються як еталонні, а цифрові – як допоміжні, за умов суворої стандартизації умов зйомки та аналізу.

## References

- Rashid, F., & Dudley, J. (2024). Bibliometric Analysis of the 100 Most-Cited Articles on the Methods of Shade-Matching in Dentistry. *Clin Exp Dent Res*, 10(6), e70037. DOI: 10.1002/cre2.70037.
- Alnusayri, M.O., Sghaireen, M.G., Mathew, M., Alzarea, B., & Bandela, V. (2022). Shade Selection in Esthetic Dentistry: A Review. *Cureus*, 14(3), e23331. DOI: 10.7759/cureus.23331.
- Hynková, K., Sarao, S.K., Voborná, I., & Levin, L. (2022). Effect of assessor's sex on visual color matching in dentistry: A systematic review of the literature. *J Esthet Restor Dent*, 34(2), 383–396. DOI: 10.1111/jerd.12839.
- Medeiros, J.A., Pecho, O.E., Pérez, M.M., Carrillo-Pérez, F., Herrera, L.J., & Della, Bona, A. (2021). Influence of background color on color perception in dentistry. *J Dent*, 108, 103640. DOI: 10.1016/j.jdent.2021.103640.
- Karcioglu, A.A., Efitli, E., Simsek, E., Ozdoga, n A., Karatas, F., & Senocak, T. (2025). ML-based tooth shade assessment to prevent metamerism in different clinic lights. *Lasers Med Sci*, 40(1), 39. DOI: 10.1007/s10103-025-04297-y.
- Shetty, S., Gali, S., Augustine, D., & Sv, S. (2024). Artificial intelligence systems in dental shade-matching: A systematic review. *J Prosthodont*, 33(6) 519–532. DOI: 10.1111/jopr.13805.
- Tango, R.N., Volpato, C.Â.M., Santos, K.F., Cesar, P.F., & Paravina, R.D. (2024). Harmonizing color measurements in dentistry using translucent tooth-colored materials. *BMC Oral Health*, 24(1), 173. DOI: 10.1186/s12903-024-03935-1.
- Akl, M.A., Mansour, D.E., & Zheng, F. (2023). The Role of Intraoral Scanners in the Shade Matching Process: A Systematic Review. *J Prosthodont*, 32(3), 196–203. DOI: 10.1111/jopr.13576.
- (2018). Colorimetry, 4th Edition CIE Publications - Premium Source for Knowledge on Light and Lighting. DOI: 10.25039/TR.015.2018
- Guo, Y., Ma, Y., Wang, Z., & Yu, H. (2025). Effects of ambient lighting conditions on the scanning accuracy and shade matching capability of intraoral scanners: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1), 1088. DOI: 10.1186/s12903-025-06446-9.
- Pundir, S., Swarup, S., & Madhav, V.N.V. (2025). Shade determination based on digital photographs and different sources of illumination. An in-vivo, pilot study. *J Oral Biol Craniofac Res*, 15(6), 1573–1578. DOI: 10.1016/j.jobcr.2025.09.020.
- Tejada-Casado, M., Herrera, L.J., Carrillo-Perez, F., Ruiz-López, J., Ghinea, R.I., & Pérez, M.M. (2024). Exploring the CIEDE2000 thresholds for lightness, chroma, and hue differences in dentistry. *J Dent*, 150, 105327. DOI: 10.1016/j.jdent.2024.105327.
- Žagar, M., Piknjac, A., Soldo, M., Knezović, & Zlatarić, D. (2024). Assessment of tooth color difference in digital photographs taken with different smartphones. *Acta Clin Croat*, 63(2), 403–412. DOI: 10.20471/acc.2024.63.02.17.
- Paravina, R.D., Ghinea, R., Herrera, L.J., Bona, A.D., Igiel, C., Linninger, M., Sakai, M., Takahashi, H., Tashkandi, E., & Pérez, M.M. (2015). Color Difference Thresholds in Dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(1), 1–9. DOI: 10.1111/jerd.12149.
- Alqutaibi, A.Y. (2024). Artificial intelligence in dental shade-matching shows promising potential for precision in restorative dentistry, though requiring further improvement. *J Evid Based Dent Pract*, 24(4), 102042. DOI: 10.1016/j.jebdp.2024.102042.

Дата першого надходження рукопису до видання: 28.03.2026

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 25.04.2026

Дата публікації: 22.05.2026