

אמצעים לבחירת צבע והעברת מידע למעבדה: עדכון לשנת 2011

ד"ר מ. גינזבורג,
ד"ר א. גלבע

המחלקה לשיקום הפה, בית
הספר לרפואת שיניים על שם
מוריס וגבריאלה גולדשלג,
אוניברסיטת תל אביב, תל-
אביב.

מבוא

העשור האחרון מאופיין בהתקדמות טכנולוגית משמעותית, באשר מערכות המחשב, האינטרנט ומערכות התקשורת מתפתחות בקצב מהיר. שינויים אלה משפיעים רבות גם על אופן התקשורת הדנטלית והתיעוד הדנטלי. בחמש השנים האחרונות נרשמה התקדמות טכנולוגית במספר מערכות למדידת צבע, השואפות להגיע ליכולת בחירת צבע מהימנה, בלתי תלויה, חזויה ומהירה. היום יותר מבעבר קיימת דרישה לבחירת צבע והבנתו, וכן לתיעוד והעברת מידע למעבדה בצורה המדויקת ביותר. על אף חשיבותו הרבה מהווה הצבע חלק מגורמים נוספים התורמים לקבלת מראה טבעי של שחזור שיניים. המאמר יעסוק בשני אתגרים העומדים בפנינו: בחירת צבע השחזור, וכן העברת המידע למעבדה.

מושגי יסוד בבחירת הצבע

אלברט מונסל (Albert Munsell) תיאר צבע כשילוב של שלושה פרמטרים (1):

1. Hue - הצבע העיקרי, המאפשר אבחנה בין משפחות הצבע השונות. במושגים דנטליים הוא מתואר כ-A, B, C, D במפתח הצבעים הקלאסי של Vita.

2. Value - כמות הצבע המוחזרת מהאובייקט. נע בין שחור טהור (Value נמוך) ללבן טהור (Value גבוה). לדוגמה, ניתן לשנות Value לא רק באמצעות בחירת חרסינה בהירה/כהה יותר, אלא גם באמצעות שינוי פני שטח השחזור, שיגרום להחזרת אור רבה/פחותה יותר (of the surface reflectivity).

3. Chroma - מבטא את עוצמת הצבע/הרוויה/הסאטורציה. במפתח צבעים קלאסי של Vita ככל שהמספר

עולה (1, 2, 3, 4) כך עולה ה-Chroma. פרט להגדרת צבע קלאסית של Munsell יש להתייחס לתכונות אופטיות נוספות המשפיעות על תפיסת הצבע (2, 4, 6).

4. Translucency - דרגת מעבר האור דרך האובייקט. השינויים מאופיינים בדרגות שקיפות שונות (בין שקוף לאטום). בנייה של שכבת אמאיל בשקיפות גבוהה בחרסינה תגרום למעבר האור דרך פני השטח ופיזורו בגוף החרסינה (משמע, פחות אור יחזור לעין) וכך נשיג 'עומק' צבע ואשליה של שן טבעית ויטלית.

5. Opalescence - תופעה בה האובייקט נראה בצבע אחד כאשר האור מוחזר ממנו, ובצבע אחר כאשר האור עובר דרכו. גבישי הידרוקסיאפטיט מתפקדים כפריזמות: כאשר נאיר אמאיל בגוונים אדומים הם יעברו טראנס-אילומינציה, ואילו הצבע הכחול יתפזר בו והאמאיל יראה לנו בגוונים כחלחלים, למרות שלמעשה הוא שקוף.

6. Fluorescence - תופעה המדברת על קליטת אור על ידי האובייקט והחזרתו באורך גל שונה. הדנטין הוא האחראי בשן לתכונת הפלואורסצנטיות. אבקות Fluorescence מוספות לחרסינה בשכבת הדנטין על מנת להעלות את כמות האור המוחזרת ולהוריד Chroma. כך ניתן להעלות Value (בגוונים הבהירים) ללא השפעה שלילית על השקיפות.

7. Metamerism - לעצמים שונים כושר החזרת אור שונה באורכי גל שונים. כלומר, תנאים של תאורה מסוימת יוצרים תחושת צבע זהה, למרות שתחת תאורות אחרות צבעם ייראה שונה.

ב-1976 הוכנסה לשימוש שיטה לתיאור טווח צבעים הנראים לעין האנושית המבוססת על תיאור צבע של

Munsell, ושמה CIE Lab colour space. יתרון השיטה הוא בכך שהצבעים מוצגים על ידי קואורדינטות מספריות, ובכך אפשר לאפיין צבע ביחידות מדודות (3).

הגורמים המשפיעים על בחירת הצבע (2, 4, 6)

• **תנאי תאורה במרפאה:** הצבע נמדד בכמות האור המשתקפת/נבלעת/מוסטת ולבסוף החוזרת לעין מהאובייקט אותו בוחנים. לכן, שינוי עוצמת האור או אורך הגל שלו ישנה את הצבע הנראה.

התאורה המתאימה לבחירת צבע היא בעוצמה של 5,500K ובעלת Color Rendering Index מעל 90 (מדד המחשב יכולת מקור אור לשחזר צבעים, בהשוואה ל-Natural Daylight, הנחשב למקור אור אידיאלי. ב-CRI קרוב ל-100 יהיה הרכב שווה של אדום/כחול/ירוק). אם התאורה במרפאה אינה עומדת בקריטריונים אלה ניתן להיעזר במכשירים ייעודיים המספקים תאורה קבועה של 5,500K (Optilume Trueshade, Rite-Lite).

לא ניתן לבחור צבע שחזור שיתאים בכל תנאי תאורה לסביבתו בפה, ועל כן כדאי לבחור צבע בתנאי תאורה ובתנוחה שבה ייראה השחזור במרבית הזמן. לדוגמה, יש לבחור צבע בשייבה במרחק שיחה של כ-50 ס"מ בין הרופא למתורפא, תוך שימוש ברטרקור להסטת שפתיים. כדאי להרטיב את השן והמפתח, ולהניח את המפתח בזווית דומה למנח השן.

• **רגישות העין כגורם משתנה:** תפיסת הצבע בעין האנושית היא תופעה סובייקטיבית ולצערנו גם רגישה ביותר. בתאי גנגליון ברטינה קיימים שלושה סוגי רצפטורים קוניים. כל אחד רגיש לאחד משלושת הצבעים הבסיסיים אדום, ירוק וכחול, ולכל צבע אורך גל שונה. אות משולב של שלושת החיישנים מועבר למרכז ראייה במוחנו. המוח מפענח את האות ומתקבלת תופעת הראייה. למעשה, נראה את הצבע (Hue) המייצג אורך גל ממוצע שהתקבל מהאותות השונים.

בנוסף, העין מתעייפת במהלך יום עבודה וכן בתנאי תאורה שונים. נדרש זמן להסתגלות העין למצב חדש (לדוגמה, מעבר בין אור שמש חזק לחדר חשוך). בגלל תכונות העייפות של העין מומלץ לבחור צבע במהירות (העין מתעייפת לאחר חמש עד שבע שניות) ולהימנע

מהימצאות צבעים עזים בשדה הבחירה (ליפסטיק, משקפיים צבעוניים, בגדים צבעוניים). התבוננות במשטח אפור/כחלחל בין הבחירות תסייע למנוחת העין.

• **התכונות הפיסיקליות של האובייקט והיחסים בינו לבין הסטרוקטורות הסמוכות** בחלל הפה ישפיעו על תפיסת הצבע, חניכיים מודלקים, מרחק בין השיניים, ניגוד בין צבע שיניים סמוכות, צילום על רקע שחור וכד'. גם המורפולוגיה והטקסטורה של פני שטח השן משפיעות מאוד על כמות האור החוזרת לעין. ככל שפני שטח השן חלקים יותר כך החזרת האור מפניהם אחידה יותר. שכפול המורפולוגיה והתאמתה לשיניים סמוכות חיונית להצלחה בהתאמת הצבע של שחזור מעבדה. העברת מידע לגבי המורפולוגיה יעילה גם באמצעי צילום דיגיטליים.

השיטה הוויזואלית לבחירת צבע

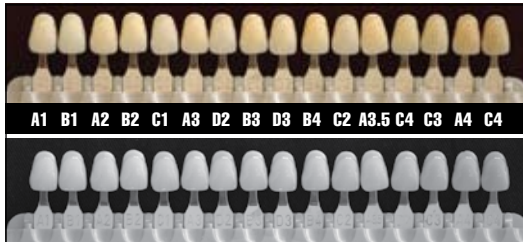
השיטה הוויזואלית לבחירת צבע היא הנפוצה ביותר בקרב רופאי השיניים. בשיטה זו משווים צבע שן למפתח צבעים סטנדרטי. השיטה מהירה וזולה, אך היא סובייקטיבית ומושפעת ממשתנים רבים (5).

קיים שוני בתכונות האופטיות של שיניים לעומת מפתחות הצבעים, כלומר מפתחות הצבעים לא מחזירים אור באותו האופן כמו השיניים בתנאי תאורה משתנים. רוב המפתחות נוצרו ונבדקו בתאורה שעוצמתה 5,500K - תאורת אור יום. כלומר, יש לבצע בחירת צבע בתנאי תאורה הקרובים ל-5,500K. כך נבחר צבע שיתאים ברוב תנאי התאורה.

מפתחות צבעים נפוצים

• **מפתח Vita קלאסי:** מפתח נפוץ ופופולרי, נמצא בשימוש עשרות שנים. למפתח זה שני חסרונות בולטים: 1. טווח הצבעים (shades) אינו מספק ואינו מכסה את טווח הצבעים שקיים בשן טבעית; 2. המפתח מתייחס לפרמטרים של Hue ו-Chroma, ללא התייחסות הולמת ל-Value. מכך נובעות טעויות רבות בבחירת צבע. לדוגמה, ל-A1 Chroma ו-Value גבוהים בהשוואה ל-B1, אך B1 נראה בהיר יותר מדוע? התשובה לכך קשורה לתפיסת העין האנושית. שני

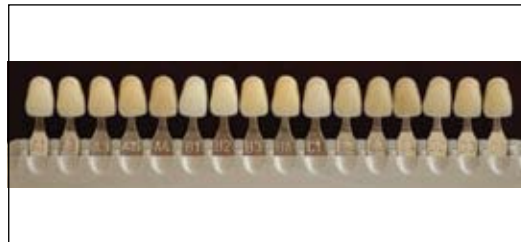
גדול מהקיים במפתח Vita קלאסי. בנוסף, מפתח Vita 3D בנוי בסידור המאפשר הערכה מדויקת יותר של צבע, היצור מנחה לבחור תחילה את ה-Value. מפתח זה מחולק לשש קבוצות (Value 0-5). לאחר מכן לבחור



תמונה 2: מפתח Vita קלאסי - סידור על פי Value

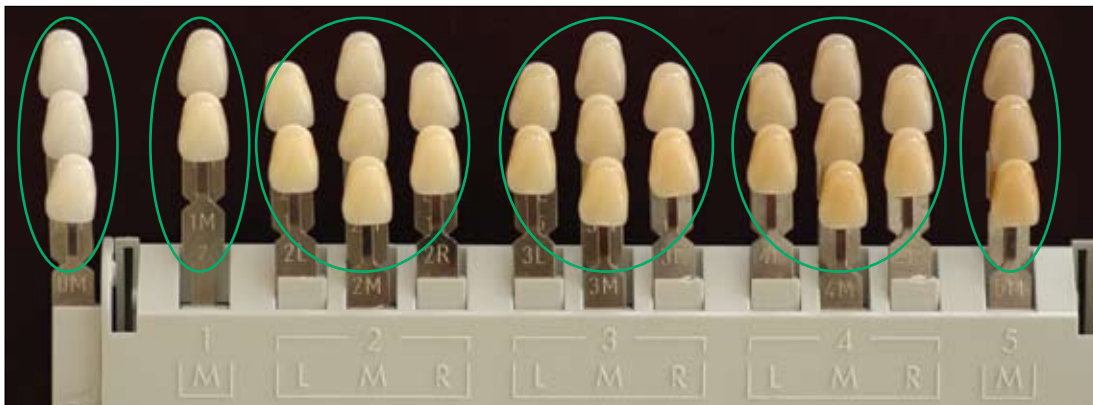
את ה-Chroma מתוך קבוצות Value שנבחרו לפי גוון M המרכזי (בכל קבוצת Value הדוגמיות מסודרות לפי Chroma בערכים של 1-3 ורטיקלית). לבסוף יש לבחור את ערך ה-Hue (קבוצות 2-4 Value מכילות גוני R האדמדמים וגוני L הצהבהבים, בנוסף ל-M, הגוון המרכזי).

אובייקטים בעלי Value זהה ו-Chroma שונה ייראו שונה. אובייקט עם Chroma גבוהה ייראה כהה בהשוואה לאובייקט עם Chroma נמוכה, למרות שיש להם אותו Value. תופעה זו עלולה לשבש תהליך בחירת הצבע.

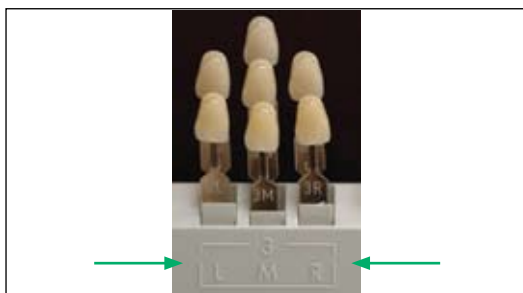


תמונה 1: מפתח Vita קלאסי - סידור סטנדרטי.

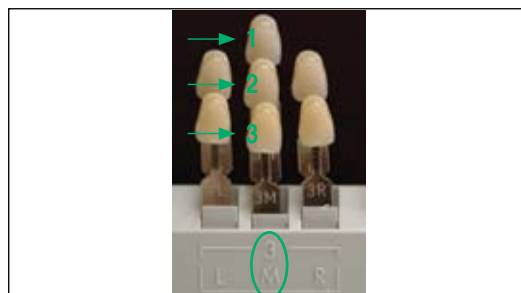
פתרון לבעיה זו הוא סידור מפתח Vita קלאסי תוך התייחסות ל-Value (7). מומלץ בבחירת צבע להתייחס הן למפתח בסידורו הסטנדרטי והן למפתח בסידור ה-Value. • **מפתח Vita 3D:** במפתח צבעים זה (8) מגוון הצבעים



תמונה 3: מפתח Vita 3D - סידור סטנדרטי. קבוצות Value.



תמונה 5: מפתח Vita 3D - בחירת Hue.



תמונה 4: מפתח Vita 3D - בחירת Chroma.

• **מפתח Vita Linearguide:** לאחרונה פותח מפתח (9) המשך המכונה Linearguide, בעל אותו מגוון צבעים כמו ה-3D, אך בסיידור נוח יותר.

צילום דיגיטלי ושימוש במחשב

לפני העידן הדיגיטלי העברנו את המידע על הצבע הנבחר באמצעות קוד הצבע במפתח הצבעים (למשל A2), או נדרשו לבצע תרשים ובו שרטוט הצבעים באזורים שונים בשן. העברת מידע על צבע באופן כזה היא חלקית בלבד. חסר מידע על מורפולוגיית פני שטח, שקיפויות, יחס לרקמות סמוכות, פנים, החזרות אור, קווי שבירת אור וכו'. הפתרון בשיטה זו היה לאפשר לטכנאי לבחור את הצבע בנוכחות המטופל במרפאה או במעבדה. היום עומדים לרשותנו מצלמות דיגיטליות ותוכנות מחשב לעיבוד תמונות. כלים אלה זמינים, מקלים על תהליך העברת המידע למעבדה, מיעילים וחוסכים זמן כיסא לצורך התאמות צבע.

ואלו הדרישות ממצלמה המתאימה לבחירת צבע לצרכים דנטליים (10) - Digital Single Lens Reflex camera - DSLR system: התפקיד החשוב של גוף המצלמה הוא שליטה על כמות האור שאלי נחשף הסנסור. כמות האור נקבעת על ידי שלושה גורמים:

1. קוטר צמצם העדשה – קובע את כמות האור הנכנסת ואת עומק השדה (האזור המצולם שנראה במוקד).
2. זמן חשיפה – יש צורך בתכונות TTL (דרך העדשה) אוטומטיות וגם כיוון ידני של זמן החשיפה;
3. רגישות המצלמה - רזולוציה מעל 10 מגה פיקסל. עדשה בצילומים דנטליים צריכה לאפשר צילום תמונות תקריב ממרחק קליני נוח. עדשת מאקרו 100-105 מ"מ נותנת שילוב אידיאלי בין יכולת הגדלה ומרחק עבודה המתאים לצרכים דנטליים. בצילומי תקריב העדשה מתרחקת מהסנסור/סרט צילום. המושג יחס הגדלה (magnification ratio) מוגדר כיחס בין הגודל האמיתי של האובייקט המצולם לבין גודל האובייקט המתקבל על הסנסור. לדוגמה, ביחס הגדלה 1:10 גודל האובייקט המתקבל על הסנסור הוא עשירית מגודלו האמיתי. העדשה בצילומים קליניים דנטליים צריכה להיות בעלת

יחס הגדלה שבין 1:1 עד 1:10 לפחות. יחס הגדלה 1:10 יכול לשמש אותנו לצילומי פנים, ויחס הגדלה 1:1 מתאים לצילומי תקריב של שיניים.

גודל הסנסור במצלמות DSLR קטן (בערך 16 כפול 24 מ"מ) בהשוואה לסרט צילום 35 מ"מ (24 כפול 36 מ"מ). לכן, במצלמות DSLR התמונה המתקבלת עוברת cropping ובזמן הצפייה תיראה מוגדלת (בערך פי 1.5) בהשוואה לתמונה ממצלמת SLR 35 מ"מ. כדאי על כן לבחור במצלמה בעלת סנסור גדול ככל הניתן או בעלת full-frame sensor (24 כפול 36 מ"מ).

תאורה טובה חיונית להפקת צילום איכותי. כדאי לבחור פלש בעל יכולת חיקוי אור יום, הנותן טמפרטורת אור של 5,500K. צורת ההארה תלויה גם בסיידור מקורות האור בפלש. הנפוצים בצילומים דנטליים הם:

• **Ring flash light source system** - מערכת פלאש זו מאפשרת הארת אובייקט בחלל הפה ללא צל כלל. חסרונה בכך שלעתים האובייקט המצולם נראה 'מושטח' עם גבולות פחות 'חדים'. מערכת זו נוחה לשימוש למתחילים וכן במקרים בהם לצל חשיבות פחותה;

• **Point flash light source system** - מערכת הנותנת מקור אור בודד הניתן להזזה. מתקבלת תמונה בעלת צל, תכונה המעניקה לה יותר 'עומק', מדגישה את טקסטורת פני השטח והקונטור. חסרונה בכך שיש צורך במיומנות רבה וביצוע מספר רב של צילומים;

• **Twin flash light source system** - שני מקורות אור הממוקמים לצדי העדשה, כאשר בעיצובים החדשים הם ממוקמים על זרועות נעות. מערכת זאת דורשת מיומנות, אך מאפשרת שילוב של תאורה רכה ואחידה עם 'עומק' תמונה וקונטור.

מכשירים אלקטרוניים למדידת צבע

• **ספקטרופוטומטר:** מדובר במכשירים (11, 12, 13) המודדים כמות אנרגיית אור שמוחזרת מהאובייקט. המידע שמתקבל 'מתורגם' לצורך התאמתו למפתחות הצבעים.

קיימים שני סוגי מכשירים המודדים שטח בקוטר 3-5 מ"מ:

1. Complete tooth surface measurement.
2. Limited area measurement devices.

• **קולורימטר** - מכשירים (11, 12) המכילים פילטרים של צבע. מתוכננים לתת מדידת צבע בערכים של ה-CIE Lab. פחות מדויקים בבחירת צבע בהשוואה לספקטרופוטומטר ולכן שימושם פחות נפוץ.

המלצות לעבודה משופרת עם מפתחות הצבעים של Vita:

• **מפתח Vita קלאסי:** אלימינציה של גוונים לא מתאימים במפתח שסודר לפי ערכי Value. יש להשאיר שלושה עד חמישה גוונים הקרובים לצבע השן ולבצע צילום קליני עם המפתחות (תמונה 6).

בחירה נוספת תהיה בעזרת מפתח שני בסידור הקלאסי ואיתור שלושה-ארבעה גוונים מתאימים ל-Chroma ו-Hue. ביצוע צילום קליני עם המפתחות (תמונה 7).

בחירת צבע של הגדם/השן המושחת (אופציונלי לחזיתות ולכתרי כל חרסונה). צילום קליני של הגדם.

להלן מספר מכשירים חדשים הקיימים בשוק:

• **Crystaleye** (Olympus, Tokyo, Japan) - מכשיר משולב המכיל ספקטרופוטומטר ומצלמה דיגיטלית. מאפשר הדמיה וירטואלית של התוצאות הצפויות וכך מסייע בעבודת הטכנאי;

• **Vita Easyshade Compact** - מכשיר קומפקטי, נייד ונוח עם תיאום מלא למפתח Vita קלאסי ולמפתח 3D Vita ובעל תוכנת קישור למחשב. מאפשר כמה אופני מדידה (השן כאזור אחד, כמה אזורים בשן, השוואה בין צבע שן לצבע שחזור ועוד);

• (MHT Optic Research, Niederhasli, Switzerland) **SpectroShade Micro** - מכשיר המשלב ספקטרופוטומטר ומצלמה דיגיטלית. Complete tooth surface measurement. מכיל מחשב מובנה עם תוכנה לעיבוד נתונים. קיים מסך LED המסייע במיקום אופטימלי של המכשיר ביחס לשן והצגת נתוני המדידה.



תמונה 6: מפתח Vita קלאסי - בחירת Value, שיטת אלימינציה.

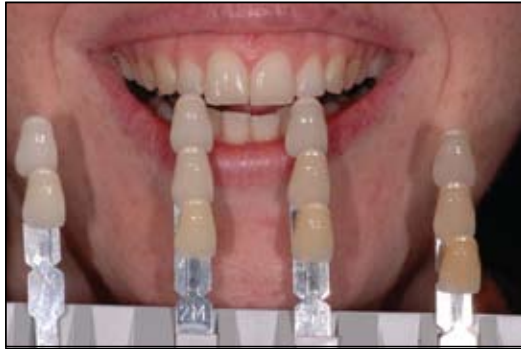


תמונה 7: מפתח Vita קלאסי - בחירת Chroma ו-Hue, שיטת אלימינציה.

בתוכנות לעיבוד התמונות שנעשו במהלך התהליך במחשב.

סיכום ומסקנות

1. שימוש במפתח Vita 3D / Linearguide מקנה דיוק טוב

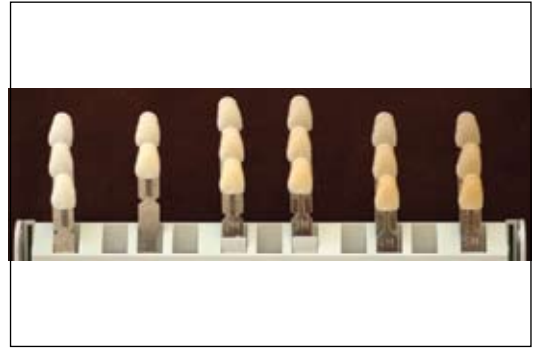


תמונה פ: מפתח Vita 3D - בחירת Value. שיטת אלימינציה.

- יותר ממפתח Vita קלאסי בהתאמת צבע.
- שימוש במצלמה דיגיטלית להעברת מידע על צבע שחזור למעבדה חוסך זמן וזמין.
- הדור חדש של מכשירים אלקטרוניים למדידת צבע הוא מדויק ואמין ויש לאמצו כחלק מתהליך העבודה לבחירת צבע.
- שילוב של מיכשור אלקטרוני עם הערכה ויזואלית ושימוש במצלמה דיגיטלית מקרב אותנו ליתר דיוק בהערכת הצבע של השן. בכך מתייעל אופן הטיפול ומתקצר זמן הטיפול במרפאה וזמן שהות המטופל במעבדה.

• מפתח Vita 3D או Linearguide:

1. יש להכין את המפתח כך שמסירים את גוני ה-L וה-R ומשאירים את גוני ה-M במקומם. כך מפשטים את תהליך בחירת ה-Value. הבחירה מתבצעת באמצעות אלימינציה



תמונה ג: מפתח Vita 3D - בחירת Value. שיטת אלימינציה.

- של גוונים לא מתאימים.
- במפתח Linearguide שש קבוצות ה-Value נמצאות על מחזיק אחד, תכונה שמקלה על העבודה. ביצוע צילום קליני בשלב זה.
- קביעת Chroma בשיטת אלימינציה. במפתח 3D לרוב קבוצות M יש שלוש דרגות Chroma.
- במפתח Linearguide כל דרגות ה-Chroma של אותה קבוצת Hue נמצאות על מחזיק אחד, עובדה המקלה על העבודה. ביצוע צילום קליני בשלב זה.
- בחירת Hue.
- עזרה נוספת באיתור הגוון המדויק תתקבל תוך שימוש

References

1. McLaren K. Colour space, colour scales and colour difference. In: McDonald R, editor. Colour physics for industry. Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd; 1987 p. 97-115.
2. Winter R. Visualizing the natural dentition J. Esthet Dent 1993; 5: 103-117.
3. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. Dental Materials 1997; 13: 179-185.
4. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. Journal of Dentistry 2004 32, 3-12.
5. Capa N, Malkondou O, Kazazoglu E, Calikkocaoglu S. Evaluating factors that affect the shade-matching ability of dentists dental staff members and lay people. J Am Dent Assoc 2010; 141: 71-76.
6. Fondriest J. Shade Matching in Restorative Dentistry: The Science and Strategie. Int J Periodontics Restorative Dent 2003; 23: (5)1-15.
7. Principles of Clinically Successful Shade Taking

- The Science & Art - Part 1-7, Dr. Ed McLaren, Dental XP- <http://www.dentalxp.com/>
8. http://www.vita-zahnfabrik.com/resourcesvita/shop/en/en_3053249.pdf
9. http://www.vita-zahnfabrik.com/resourcesvita/shop/en/en_3055138.pdf
10. Terry DA, Snow SR, McLaren EA. Contemporary Dental Photography: Selection and Application. Compend Contin Educ Dent. 2008 Oct; 29(8): 432-436, 438, 440-442 passim; quiz 450, 462.
11. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental

color matching instruments and systems: Review of clinical and research aspects. Journal of Dentistry 2010 38 s; e 2-e 16

12. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color measuring devices. Journal of Prosthodontics 2007; 16: 93-100.
13. Judeh A, Al-Wahadni A. A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection. Quintessence Int. 2009 40(9): e69-e79.

○○○

האם אין כאן רוחים מיותרים?
הספור הגיע כר מהמחבר