



臺灣口腔醫學工程學會會誌

Taiwan Oral Biomedical Engineering Association

No. 1

發行人	歐耿良
出版主委	林中魁
發行所	臺灣口腔醫學工程學會
秘書處	臺北市吳興街250號 口腔醫學大樓1F
電話	886-2-27361661-5212
出版日期	101年12月15日

牙齒比色中的科學思路



劉峰

北京大學口腔醫院門診部特診科

牙齒的顏色千差萬別，文獻報導需要有800多種顏色才能全面含括正常天然牙齒的各種顏色。在臨床工作中，如何準確地捕捉和表達天然牙的顏色資訊、指導技師進行烤瓷製作，是口腔醫學界一直探索的重要問題。只有瞭解色彩感知過程、真正理解色彩和各種表色體系的含義，再利用科學的比色系統、比色工具及比色方法，掌握了科學的比色思路，才能更好的完成這項工作。

一、色彩感知的三要素

人對色彩感知的要素包括光源、物體和人的感知系統。（圖1）當光源發出的具有一定波長的可見光投射到物體上，一部分波長的光會被吸收，也許還會有一些光會透射，最終被物體反射的、被人的感知系統所感知的光形成物體所展現的顏色。光源、物體、人的感知系統任何一個環節發生改變，都會影響所觀察到的物體的顏色。

最基本的光源是太陽光，可見光是太陽發射出來的光波的一部分，即波長大約在380um-780um的部分，根據波長從長到短可以被區分為紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等不同顏色的可見光。光波的其他部分是非可見光，如紫外光、紅外光、X線等等（圖2）。

二、色彩的三要素

色彩可以從色相、明度、飽和度三個方面進行描述，這非常有助於清楚的理解色彩。

1. 色相

又稱為色調，是不同色彩之間彼此區分的本質特性。不同波長的光色相不同，前邊講到，根據波長可以將太陽光分解為紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等不同色彩。當一束光線投射到物體上，一部分光被吸收，一部分光可能會透射過去，剩下的一部分反射回來，到達人的感知系統。對於某一物體來講，其色相決定於反射光的波長，即（入射光-吸收光-透射光）所得到的色相。

2. 明度

又稱亮度，是色彩由明到暗的變化程度。物體的明度決定於物體對光的反射率，反射率越高，物體的明度就越高；對光的反射率越低，物體的明度就越低。同一色相下，不同明度的變化可以想像為在中間色裡摻入黑或白所得到的效果。摻入白色可以減

少光的吸收、更加光的反射，因此使明度升高；摻入黑色則反之，黑色可以增加光的吸收、減少光的反射，因此使明度降低。

物體的明度卻決於反射率，即（入射光-吸收光-透射光）/入射光的比例，還可以表示為 $[(入射光-吸收光)/入射光-透射光/入射光]$ ，即明度和物體的透明度有關。同色相的物體，透明度越高，明度就越低；透明度越低，明度就越高。這可以幫助我們理解瓷修復體的透明度對顏色的影響。

3. 彩度

又稱飽和度、濃度、純度，是色彩的鮮豔程度。同色相、同明度的彩色有彩度的差異。同一色相、明度下，純色的彩度最高，不同彩度的變化可以想像為在純色中摻水多少所產生的效果，也就是色彩被逐漸稀釋的效果。



圖1 感知顏色的過程

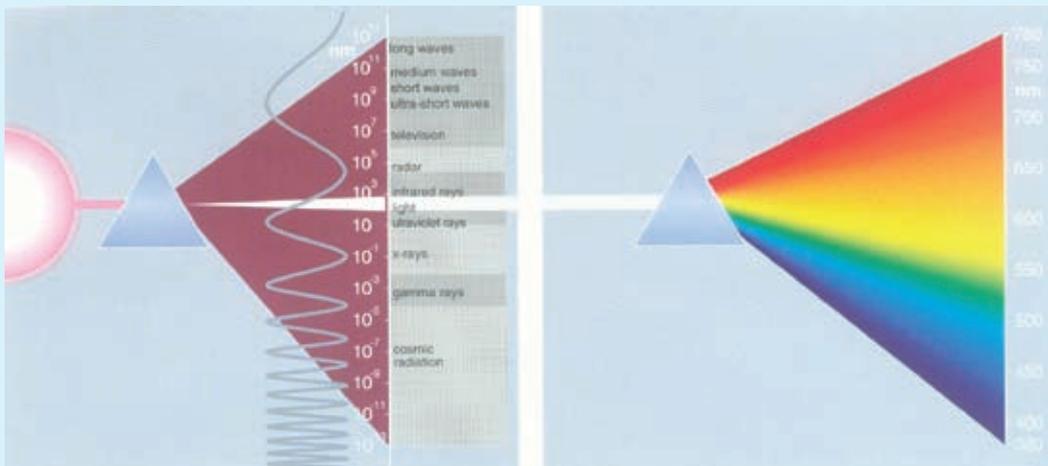


圖2 可見光

三、標色系統

色彩的三要素是抽象的概念，科學的標色系統可以明人們更好的理解色彩三要素、將千萬種色彩進行形象地描繪、準確的定位。現代常用的表色系統包括孟塞爾表色系統、 La^*b^* 表色系統、LCH表色系統等，各個表色系統具有不同的特點。真正領悟這些標色系統的原理，會對牙齒比色有很好的指導作用。

1. 孟塞爾表色系統

這個系統是在1905年由美國人Munsell發明。孟塞爾表色系統採用了3000多色卡，對色彩的三要素進行直接的表達，是一種指導肉眼進行比色的標色系統。

在孟塞爾色空間中，垂直的軸表示明度，越往上明度越大，越往下明度越低；在每一個平面上，按照角度逐漸變化的是色相，每個圓周上都有紅橙黃綠藍靛紫等不同色相的變化；在每個半徑上表現的是相同色相、相同明度下彩度的變化，越靠近中心軸飽和度越低，越靠近周邊飽和度越高。（圖3）

孟塞爾表色系統是一種肉眼比色系統，用於指導人們利用一系列色卡、依靠眼睛的觀察進行比色，其比色順序是先比明度，再比飽和度，最後確定色相。

2. La^*b^* 表色系統

隨著科技的進步，在上世紀七十年代，出現了各種可以識別顏色的電子設備，為了滿足這些電子設備的需要，1976年國際照明協會（CIE）確定了 La^*b^* 表色系統，這是一種專門用於儀器測色的標色系統。由於是儀器測色， La^*b^* 表色系統可以給出連續的、精確地色度值，這是與孟塞爾肉眼比色系統最大的不同點。這個系統也是目前口腔色彩學研究中最常用標色法。

La^*b^* 表色系統用一個假想球形3D立體結構表示色彩，用 La^*b^* 三個參數來描述一個點的色彩。其中L代表明度，與孟塞爾表色系統相同，也是表現在縱軸上，越往上明度越高，越往下越低；色相及彩度的變化在球形的橫截面上，人為確定 a^* 表示紅色方向， $-a^*$ 表示綠色方向， b^* 表示黃色方向， $-b^*$ 是藍色方向。（圖4）

採用 La^*b^* 表色系統可以直接計算出兩種色彩的色差，即 $\Delta L = L_1 - L_2$ ； $\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2$ ； $\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2$ ；總色差 $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ ，因此，目前口腔色彩學術界很廣泛地採用 La^*b^* 標色系統進行統計、分析。但也有很多文獻表示，單純的總色差 ΔE 並不能準確表達兩種色彩給人帶來的心理差距，即兩種顏色的總色差 ΔE 的大小並不一定與人的心理感受一致，所以其實單純的採用 ΔE 表示顏色的差距並不十分科學。

3. LCH標色系統

LCH標色系統也是一種儀器測色表色系統，採用與 La^*b^* 標色系統相同的色彩球，可以給出連續的色度值，但其採用的三個參數L、C、H與孟塞爾標色系統十分類似，可以更好的反映色彩給人的心理感受。L仍為明度，表現在縱軸上；C代表彩度，表現在距離縱軸的遠近，數值越大、越向周邊、顏色越鮮豔，數值越小、越靠近縱軸、顏色越模糊；H代表表現為與紅色方向的交角，表示色相。（圖5）

根據三角函數理論，LCH表色系統的色度值與 La^*b^* 表色系統的色度值可以互相換算，即 $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ， $H = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ 。

LCH標色系統的可以直接計算明度和彩度的差異，即 $\Delta L = L_1 - L_2$ ， $\Delta C = C_1 - C_2$ ，但是色相的差異不能直接得出，而要通过 La^*b^* 表色系統計算出的總色差間接

計算得出，即 $\Delta H = (\Delta E^2 - \Delta L^2 - \Delta C^2)^{1/2}$ 。也正如此LCH標色系統沒有被口腔色彩學術界的科研工作所採用，但實際上LCH標色系統的概念與指導肉眼比色的孟塞爾系統更一致，更容易被口腔臨床醫生和技師所理解，對於臨床比色更有實際指導意義。

四、正確感知色彩的要素

由於感知色彩的三要素為光源、物體和人的感知系統，因此正確的感知色彩也需要從光源、物體和人的感知系統三個方面考慮。

1. 光源

正確的比色對於光源的要求非常高，只有在具有適宜色溫、足夠顯色指數、適宜照度的可見光源的照射下，才能正確的感知色彩。

環境光源的平均波長叫做色溫。太陽光的色溫為5500k-6500k，物體在太陽光源照射下所體現的顏色是最真實、自然的顏色。但大部分的人工光源的色溫並不能確保在5500k-6500k。很多光源發出的光線通過光譜分析就可以看到與太陽光的區別（圖6）。如果各種波長的可見光強度不平均、有多有少，某些波長的光成為優勢光，就會由於光源不標準而造成辨色偏差。

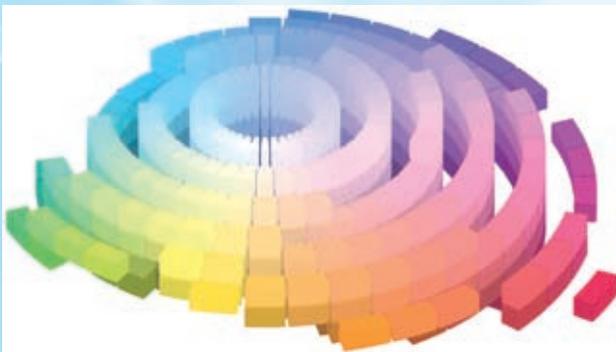


圖3 孟塞爾表色系統

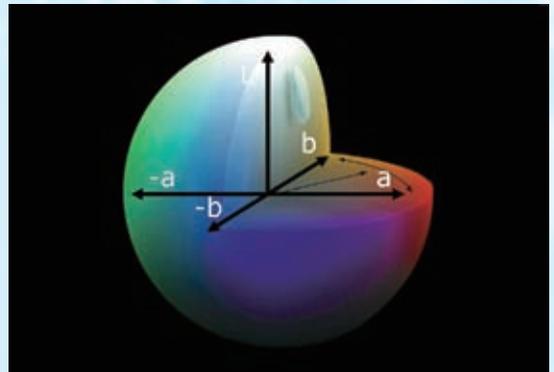


圖4 L*a*b*表色系統

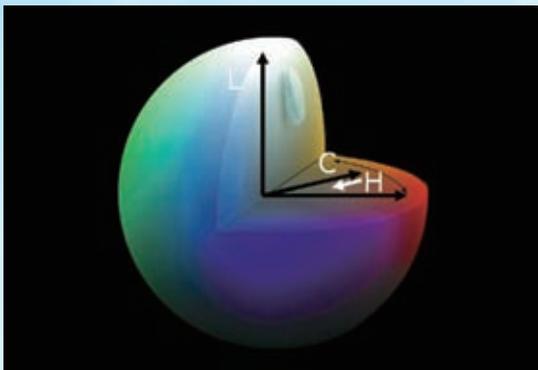


圖5 LCH表色系統

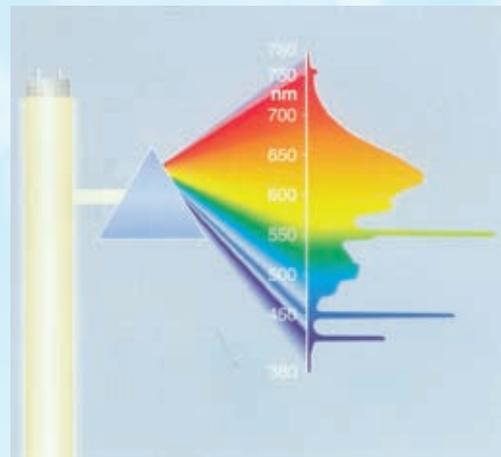


圖6 大部分人工光源的光譜分析與太陽光的光譜分析都有區別

除適宜的色溫即光源的平均波長外，光源可以發射出各種波長的光而沒有缺漏也是非常重要的。如果光源中本身就缺少某種顏色的光的波長，那麼物體就不可能反射出這個波長的光，因此即使物體具有這種顏色，人也不可能感知到。顯色指數（CRI）用來描述光源的這個性質，即指光譜的完整性。CRI-100表示光源涵蓋了整個可見光和近紫外光的光譜，對於口腔比色，光源的CRI至少要達到90-93。

光源的第三個重要因素是足夠的光強，即照度。如果光強過弱，肉眼難以分辨物體的微細節，也難以辨別顏色（圖7）。對於口腔比色來講，適宜照度為1500 LUX（175英尺燭光）。

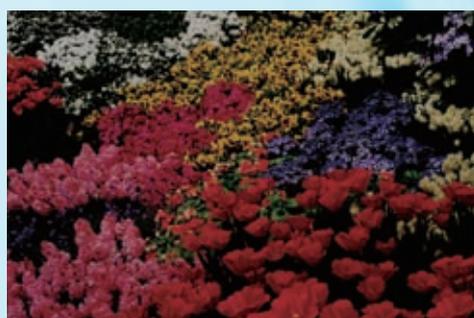


圖7 足夠的光強下可以分辨細節和顏色；不足的光強難以分辨物體的細節和顏色

2. 物體要具有適宜對比的環境、足夠的大小和足夠的靜止時間

物體的環境對於比色有很大影響。過於接近的、對比過小的環境使物體融於環境（圖8），而過強的對比又會帶來耀眼的感覺（圖9）。這兩種情況都會給辨色帶來困難。

物體具有足夠的大小可以使觀察物體是具有足夠的視角，這對正確辨色也是非常重要的（圖10）；而對運動著的物體進行辨色也是非常困難的（圖11）。

3. 人的感知系統

即使有了最標準的光源、適宜的物體物件，也不一定能準確地把顏色辨別出來，人的感知系統是一個更重要的影響因素。人的感知系統特性對人能否正確分辨物體的色彩有重要影響。



圖8 過低的對比使物體融於環境

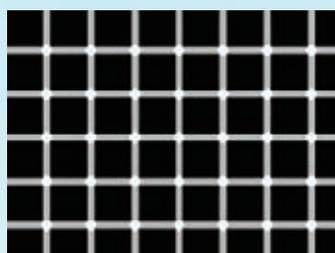


圖9 過高的對比產生耀眼的感覺

人的視網膜上對色彩敏感的細胞包括約1200萬個視杆細胞和約700萬個視錐細胞。視杆細胞對明度敏感，數量多且敏感，低照度下即可發揮作用，然而在高照度下又會被抑制；視錐細胞對色相、飽和度敏感，但只在高照度下才能發揮作用。

也就是說，在照度不強時，分辨兩種顏色是依靠其明度的差異；在照度較強時，分辨兩種顏色的差異是依靠其色相和飽和度（圖12）。對於口腔內相對照度較低、比較暗的環境來講，容易被分辨的顏色偏差是明度上的偏差。因此，在比色過程中首先進行正確的明度匹配是比色中重要的環節，而這也正是孟塞爾肉眼比色系統以及VITA 3D比色系統推薦的比色順序。

五、正確的比色順序

理解了以上色彩學的基本理論，就可以更容易的理解正確的比色方法。根據人的感知系統中視杆細胞、視錐細胞的特點，正確的比色順序是首先在柔和的光線下，對天然

牙進行明度的判斷，然後在較高照度的光源下進行飽和度與色相的選擇，這正是孟塞爾肉眼標色系統推薦的比色順序。目前臨床上常用的比色系統中，VITA 3D比色系統推薦的比色順序。

六、比色系統的選擇

口腔臨床上一般採用比色板用肉眼進行比色。因此，一個比色系統是否符合人感知系統的特點、是否與肉眼表色系統相協調，決定了比色系統的科學性。選擇具有科學性的比色系統更有利於醫師對牙齒進行迅速、準確的比色。那麼那種比色系統更科學呢？

VITA傳統16色比色板是首先以色相分為ABCD四組，在每組中再根據彩度不同分為1、2、3、3.5、4等級別，但對於明度卻沒有給予考慮，其分級與明度沒有關係，因此採用這種比色系統很難得到在明度上相對準確的比色結果（圖13）。同時，其它品牌的大部分仿牙體比色板也都存在類似問題。而明度的差異實際上在口腔內是最容易被察覺

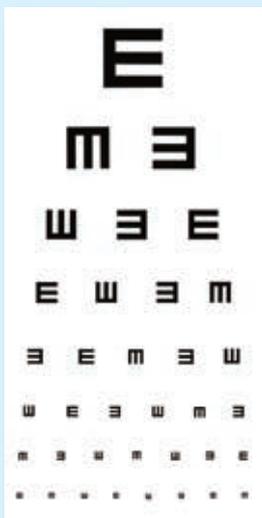


圖10 過小的物體會對辨色造成障礙



圖11 運動的物體會加大辨色難度

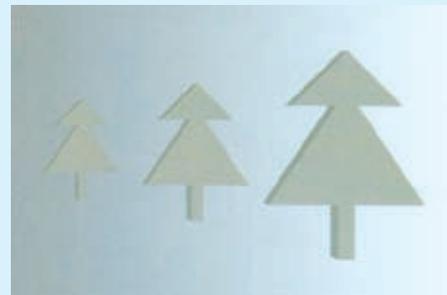


圖12 在低照度情況下，分辨出樹形形狀主要依靠與背景間的明度區別；隨著照度的增加，分辨出樹形形狀轉變為主要依靠與背景間的色相、彩度區別

的，因此這些比色系統從色彩學原理上講都不夠科學，都不利於人眼正確的辨別顏色。

VITA 3D比色系統與VITA傳統16色比色板和其他品牌的仿牙體比色板相較，不僅是數量上的、色彩分佈上的變化，更是在色彩學原理上有了本質的變化。

VITA 3D比色系統首先是按照明度進行分為1-5組，在每組中再根據飽和度分為1、1.5、2、2.5、3幾個級別，最後再根據色相分為正常的M、偏黃的L及偏紅的R三組（圖14）。這種比色系統結構與肉眼比色的孟塞爾比色系統相協調，比色順序也符合人的感知系統的特點。只有利用VITA 3D比色系統可以實現按照孟塞爾比色系統推薦的比色順序進行比色，即先比明度，再比飽和度，最後確定色相。因此與其它比色系統相比，VITA 3D比色系統與其他比色系統相比是一種更科學的比色系統。

除了比色順序以外，評價一個比色系統是否科學的另一個重要因素是是否可以方便、相對準確的描述大量存在的中間顏色。因為任何一個比色系統內比色板的數量最多不超過50個顏色，這與牙齒實際可能具有的800多種顏色相比較只是很小的部分，無論採用那個系統的比色板都會存在大量比色板上不存在的中間顏色，只有科學的比色系統才能夠表達這些大量存在的中間顏色。

VITA傳統的16色比色板的色標分佈不夠合理、色標排序不合理，色標之間的間距也不相等（圖15），因此很難利用VITA傳統的16色比色板判斷、描述中間色，如A2和A3混合並不能得到A2.5。這不利於醫師捕捉準確顏色資訊、不利於醫師傳遞準確顏色資訊給技師。其他品牌的仿牙體比色板同樣存在這些問題。

VITA 3D比色系統在這方面也有了本質的改變，其色板排序合理、色板分佈合理，各個色板之間的橫向及縱向間距均相等（圖16），因此可以利用簡單的加法描述大量的中間顏色，如利用2M1和2M2以1：1混合可以得到比色板中不存在的2M1.5，或者2M1和3M1以1：1混合可以得到比色板中不存在的2.5M1，甚至以2M1和2M2以1：3混合就可以得到2M1.75。以此類推，牙色空間內所有的顏色都可以在VITA 3D比色系統中進行定位、表達，如2.3R2.6，3.4L3.5等顏色。

而在VITA傳統16色比色系統或其他比色系統中，描述中間顏色從原理上講就是根本不能實現，凡不是在比色板上的標準顏色，只能通過“比A2稍微紅一點”、“比R2略微黃一點”等不準確的語言來描述，而不可能在色空間裡給與準確的定位。

在科學的Vita 3D比色系統的說明下，用



圖13 從明度角度觀察VITA傳統16色比色板，可以看到其分級與明度沒有關係。例如A2、B2、C2、D2的明度是完全不同的。



圖14 VITA 3D比色系統首先是以明度進行分組。

肉眼可以更準確、更方便的對更多的顏色進行描述，很多中間顏色也可以得到很好的表達。掌握了這種比色系統，相當於比色板的數量得到了放大，這也就為準確地進行比色提供了更多的可能性。（圖17）

六、肉眼比色的局限性-儀器測色的必要性

VITA 3D比色系統是一種非常科學的比色系統，但還有很多顏色雖然在3D比色系統內可以描述，卻很難用肉眼準確定位、用色標號也難以描述。比如由2.5M1、2.5M2與2.5R1.5混合得到的顏色是可以在3D比色系統

內進行描述的（圖18），但卻若想肉眼準確定位卻是很難的，而且用色標號描述也是難以的，可以說這種顏色是肉眼比色的盲區。

對於實際中存在的大量這類顏色，採用電腦比色儀進行測色，利用這種圖形化的、形象化的方式進行描述，是一種最準確、最可靠、也最容易理解的方法。理解了這種比色結果，技師就可以採用2.5M1、2.5M2與2.5R1.5混合來正確的再現這個顏色。因此，在VITA 3D比色系統的框架下，電腦比色儀可以克服肉眼比色存在的很多盲區，使更多的顏色都可以得到準確的捕捉和描述。

另一方面，前邊講到，由很多因素會影響比色的準確性。比如很多診所處於大樓內，可能根本沒有日光照射，也可能是透過有色玻璃得到的日光，如果沒有非常好的標準光源作輔助比色光源，用肉眼就很難得到準確的比色結果；同時，每個人的感知系統的準確性不同，每天工作一段時間以後眼睛的疲勞會進一步降低肉眼比色的準確性，這些都會對比色結果產生很大影響。如果對自己的比色條件、肉眼辨色準確性有所懷疑時，採用電腦比色儀測色是使比色更精確的良好輔助工具。

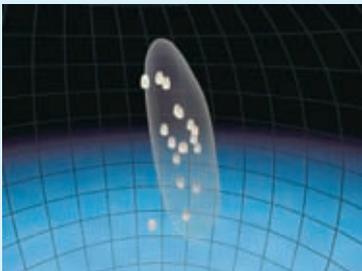


圖15 16色比色板色標分佈、排序不合理

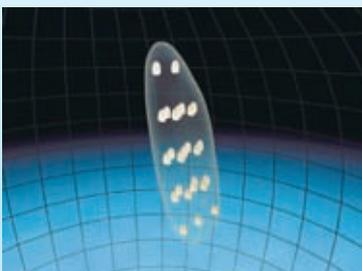


圖16 3D比色板色標分佈、排序合理，間距相等

1M1	1.5M1	2M1	2.5M1	3M1	3.5M1	4M1	4.5M1	5M1
1M1.5	1.5M1.5	2M1.5	2.5M1.5	3M1.5	3.5M1.5	4M1.5	4.5M1.5	5M1.5
1M2	1.5M2	2M2	2.5M2	3M2	3.5M2	4M2	4.5M2	5M2
	1.5M2.5	2M2.5	2.5M2.5	3M2.5	3.5M2.5	4M2.5	4.5M2.5	5M2.5
		2M3	2.5M3	3M3	3.5M3	4M3	4.5M3	5M3

圖17 就中間M色調來講，等間距很容易擴展出28個正中中間色，等於很簡單的把14個色標擴展為42個

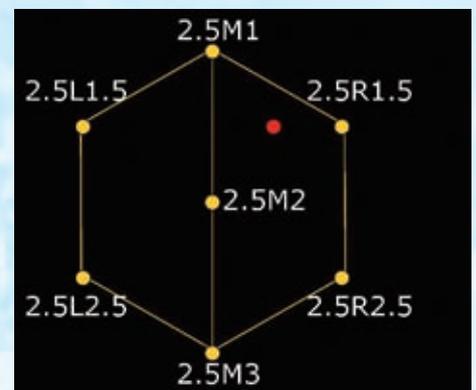


圖18 由於3D比色系統的色標間距相同，因此可以對2.5M1、2.5M2與2.5R1.5混合得到的顏色在3D比色系統內進行描述，這個顏色就位於紅點所在的位置。

七、典型病例

患者孫小姐，21歲。健身房運動時不慎從跑步機上跌落，致上下前牙外傷折斷。經根管治療、觀察無症狀後開始修復。由於患者非常年輕，要求採用美觀性優秀、並且最為堅固耐用的全瓷材料，因此考慮採用everest - CAD/CAM系統的氧化鋁烤瓷冠。（圖19、20）

應用VITA-EASYSHADE比色儀進行比色，再根據比色結果進行人工驗證。將選擇的比色板與目標牙齒共同拍照，採用灰色背景。技師綜合電腦比色儀的結果，以及拍攝的數位影像，進行贗復體的顏色再現（圖21-圖24）

修復後效果（圖25-圖27）



圖19



圖20



圖21



圖22



圖23



圖24



圖25



圖26



圖27