

# 基于 CIECAM02 色貌模型的义齿基托树脂色差评价

郭志敏, 林 红, 郑 刚<sup>△</sup>, 白 伟

(北京大学口腔医学院·口腔医院口腔材料研究室, 北京 100081)

**[摘 要]** **目的:**探讨采用仪器法评价义齿基托树脂色差的 $\Delta E$ 最佳色差公式。**方法:**使用 SP62 分光光度测色仪对老化时间不同的 35 个义齿基托树脂片进行测量, 将测量结果分别用 CMC、DE2000、CAM02-LCD、CAM02-SCD、CAM020-UCS 色差公式进行色差计算, 将计算结果与视觉实验所得视觉色差  $\Delta V$  进行比较, 并用 PF/3 性能因子、STRESS 值以及  $F$  检验对各公式进行检验, 找出最适合计算义齿基托树脂色差的公式。**结果:**CMC、DE2000、CAM02-LCD、CAM02-SCD、CAM020-UCS 的 PF/3 性能因子分别为 22.448、22.220、22.840、21.760、22.049, STRESS 值分别为 0.205、0.228、0.260、0.192、0.240。**结论:**PF/3 性能因子、STRESS 值以及  $F$  检验所得结果的综合比较显示, 各公式预测义齿基托树脂色差的准确性顺序为: CAM02-SCD 最优, 其次为 CMC, DE2000 和 CAM02-UCS 再次之, DE2000 略优于 CAM02-UCS, CAM02-LCD 最差。

**[关键词]** 义齿基托; 树脂黏固剂; 色差评价; 美学; 牙科

**[中图分类号]** R783.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-167X(2013)01-0101-04

**doi:**10.3969/j.issn.1671-167X.2013.01.021

## Color-difference evaluation of denture base resin based on CIECAM02 color appearance model

GUO Zhi-min, LIN Hong, ZHENG Gang<sup>△</sup>, BAI Wei

(Dental Material Research Center, Peking University School and Hospital of Stomatology, Beijing 100081, China)

**ABSTRACT Objective:** To compare the following color-difference equations: CMC, DE2000, CAM02-LCD, CAM02-SCD, CAM020-UCS, and to search for the most appropriate one to evaluate denture base resin. **Methods:** Thirty five denture based resin pieces which were aging during different time were measured using SP62 spectrophotometer and the color-difference was calculated using the above equations. PF/3, STRESS, and  $F$ -test of every calculation result were compared. **Results:** PF/3 of CMC, DE2000, CAM02-LCD, CAM02-SCD, CAM020-UCS were: 22.448, 22.220, 22.840, 21.760, 22.049; STRESS of those were: 0.205, 0.228, 0.260, 0.192, 0.240. **Conclusion:** By comprehensive comparison of PF/3, STRESS and  $F$ -test, CAM02-SCD is the most appropriate equation for denture base resin, which was followed by CMC. The scatter diagram of color-difference showed that color difference measured by instrument method is more objective and accurate compared with human eyes.

**KEY WORDS** Denture bases; Resin cements; Color-difference evaluate; Esthetics, dental

随着人们生活水平的日益提高,在满足基本日常生活条件的基础上,人们对美观的要求日益增加,表现在口腔疾患的治疗中,修复学治疗在保证咀嚼功能的同时,越来越注重美观性;正畸学治疗在保证正畸效果的同时,也越发对正畸附件的隐形性提出要求。在对美观的要求中,颜色作为材料最直观的属性,一直受到广泛的关注,特别是义齿基托树脂等材料在使用过程中的老化变色问题,已成为鉴别和评价材料质量的重要项目。

对于义齿基托树脂材料的变色程度评价,在

现行产品标准中<sup>[1]</sup>只规定了由 3 名观察者进行是否变色的判定,该方法虽然简单易行,但会受到观察者主观因素(诸如疲劳、经验、敏锐性等)的影响。本研究的目的是探讨用客观的方法即仪器法对材料变色进行评价。然而,由于颜色的变化即色差是人通过眼睛产生的感觉,因此,理想的仪器测试结果应该能够与主观评价结果达成一致。目前的研究工作是致力于寻找到能够更准确描述色差的 $\Delta E$ 颜色空间及计算公式,使其对颜色变化的表述能最大程度地与主观评价结果一致。现有的色

<sup>△</sup> Corresponding author's e-mail, zhengang101@126.com

网络出版时间:2013-1-9 10:12:32 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4691.R.20130109.1012.002.html>

差计算公式<sup>[2]</sup>有 CIELAB、CIE94、CIEDE2000<sup>[3]</sup>和 CMC 等,还有基于 CIECAM02 色貌模型的 CAM02-LCD、CAM02-SCD 以及 CAM02-UCS<sup>[4]</sup>等公式。本研究通过引入以上各色差公式以及色貌模型对颜色的测量数据进行处理,探讨采用仪器法对义齿基托树脂进行色差评价的可行性以及最适合于评价树脂基托变色的色差公式。

## 1 材料与 方法

### 1.1 实验材料和仪器

所用材料和仪器有牙科丽义齿基托液和义齿基托聚合物 BQ-1(自凝型,色号为 5,上海贝琼齿科有限公司);不锈钢对开模具及夹具(北京大学口腔医学院口腔医疗器械检验中心);SUNTEST XLS+色稳定仪(Atlas,日本);电热恒温水浴箱(北京长安科学仪器厂);SP62 分光测色仪(X-rite, Inc., 美国);标准光源对色灯箱(北京和信同科技发展有限公司);砂纸(800 目、1 000 目、1 200 目)和聚酯薄膜等;色稳定仪为氙灯光源,辐照度 756 W/m<sup>2</sup>,水温 37 ℃(循环水,水位 1 cm);SP62 分光测色仪采用脉冲式充气钨丝灯作为光源,模拟 D65 标准照明体,积分球式设计,漫射照明,8° 方向接收,可通过专用软件处理排除镜面反射成分;标准光源对色灯箱选用 D65 标准光源,内衬中性灰背景。

### 1.2 实验方法

试片的制作:将牙科丽义齿基托聚合物和义齿基托液按照 2.0 g : 0.9 mL 的比例调和,于面团期充入不锈钢对开模具的型腔中,调和物表面覆盖一层聚酯薄膜,加盖,上夹具,在液压机上加压固定。按照说明书规定,置于恒温水浴箱中,在 60 ~ 70 ℃ 的环境中固化 1 ~ 1.5 h,待充分冷却后,从对开模具中取出试片,用 800 目、1 000 目、1 200 目砂纸依次打磨试样表面,使试样的规格符合直径(50 ± 1) mm、厚度(0.5 ± 0.1) mm,且上、下表面平整。用螺旋测微器测量厚度,测量 5 次取平均值,测量的位置 1 次在圆心,4 次在圆周的四等分位置上。按照上述方法共制作试片 35 个。

老化试验:将圆形试片的一半用铝箔纸包被,作为对照侧,另一半暴露于光照的老化条件下。将包被好的 35 个试片放入色稳定仪中,采用色稳定仪的氙灯光源,辐照度 756 W/m<sup>2</sup>,水温 37 ℃(循环水,水位 1 cm)进行照射。通过控制照射时间的不同(从 0.25 h 开始,以 0.25 h 递增,至 7.5 h,然后加大时间间隔至 0.5 h,共规定 35 种照射时间),得到颜色发生不同程度变化的 35 组试片。

颜色的测量:采用 SP62 分光测色仪,分别测量 35 个试片的对照侧和光照侧的色度值 L\*、a\*、b\* 以及色品坐标(x, y, Y)。测量条件为 D65 光源,d/8°几何条件,CIE10°标准色度观察者,排除镜面反射。试片底部衬以中性灰背景<sup>[5]</sup>,每个试片左右两侧各测量 5 次,取 5 次平均值作为该侧的测量值。

视觉实验:挑选 20 名色觉正常的成人观察者(男 8 名,女 12 名),每人分别对置于标准光源对色灯箱中(背景色与 SP62 分光光度仪测量时相同),对以随机方式出现的 35 个试片是否发生颜色改变进行 3 次判断。每人每天最多做一次视觉实验。观察条件是 0°/45°(0°方向照明,45°方向接收),观察者的视距为 25 cm,视场大于 4°。实验开始前灯箱预热 10 min,每位观察者先对灰色背景进行 1 min 左右的亮度适应,然后对依次出现的每个试片左右两侧是否发生颜色改变进行判断并依次记录。每位观察者对每个试片的判断时间不超过 2 s。

### 1.3 统计学分析

采用 SPSS 17.0 统计软件对视觉实验结果进行 Z 值变换,并与 DE2000 色差公式所得色差值进行最小二乘法曲线拟合,得到视觉色差 ΔV。计算每个公式所得的 ΔE 与 ΔV 比较得到的 PF/3 性能因子和 STRESS 值,并对公式进行两两之间的 F 检验<sup>[4]</sup>。

## 2 结果

各公式所得的 ΔE 与 ΔV 比较的 PF/3、STRESS 值,以及两两 F 检验结果见表 1 和表 2。

表 1 5 种公式预测性能 PF/3 值以及 STRESS 值

Table 1 PF/3 values and STRESS values of 5 kinds of formulas

	CMC	DE2000	CAM02-LCD	CAM02-SCD	CAM02-UCS
PF/3 value	22.448	22.220	22.840	21.760	22.049
STRESS value	0.205	0.228	0.260	0.192	0.240

表 2 5 种公式所得义齿基托树脂色差数据的  $F$  检验 ( $F_c = 0.862, 1/F_c = 1.160$ )Table 2  $F$ -test of denture base resin color data calculated from 5 kinds of formulas ( $F_c = 0.862, 1/F_c = 1.160$ )

	CMC	DE2000	CAM02-LCD	CAM02-SCD	CAM02-UCS
CMC		1.239	1.617	0.880	1.379
DE2000	0.807		1.305	0.710	1.113
CAM02-LCD	0.618	0.766		0.544	0.853
CAM02-SCD	1.137	1.408	1.839		1.568
CAM02-UCS	0.725	0.898	1.172	0.638	

PF/3 性能因子<sup>[4]</sup>由 4 种表示变量间相关性的参数(伽马因子  $\gamma$ , 变异系数  $CV$ ,  $V_{ab}$  以及相关系数  $r$ )组成,即  $PF = 100 (\gamma + V_{ab} + CV/100 - r)$ ,用以评价两组数据间的相关性。在色差评价的研究中,PF/3 性能因子常被用来评价由心理物理实验得到的视觉色差数据  $\Delta V$  与色差公式所得色差  $\Delta E$  之间的相关性,PF/3 值越小,说明两组数据相关性越好。

STRESS 作为另一个相关性评价指标<sup>[6]</sup>,其值介于 0 ~ 100 之间,且结果可直接用于  $F$ -test 计算,可对两两色差公式之间的差异进行显著性分析。

$$STRESS = \sqrt{\frac{\sum (\Delta E_i - F1 \Delta V_i)^2}{\sum F1^2 \Delta V_i^2}}$$

$$F1 = \frac{\sum \Delta E_i^2}{\sum \Delta E_i \Delta V_i}$$

$$F = \frac{V_A}{V_B} = \frac{\sum (\Delta V_i - a_A \Delta E_{A,i})^2}{\sum (\Delta V_i - a_B \Delta E_{B,i})^2} = \frac{STRESS_A^2}{STRESS_B^2}$$

$$a_A = \sum (\Delta E_{A,i} \Delta V_i) / \sum (\Delta E_{A,i})^2$$

$$a_B = \sum (\Delta E_{B,i} \Delta V_i) / \sum (\Delta E_{B,i})^2$$

式中, $\Delta E_i$ 、 $\Delta V_i$  分别表示编号为  $i$  的试片所对应的由公式计算所得的色差和视觉色差; $\Delta E_{A,i}$ 、 $\Delta E_{B,i}$  分别表示编号为  $i$  的试片所对应的由公式 A 和公式 B 计算所得的色差; $STRESS_A$  和  $STRESS_B$  分别表示公式 A 和公式 B 对应的 STRESS 值。如此,可将 STRESS 值直接用于  $F$ -test 的计算,从而对两两色差公式之间的差异进行显著性分析。

查表可得临界值  $F_c = 0.862098$ ,  $1/F_c = 1.159960$  [ $F_c = F(df_A, df_B, 0.975)$ ],置信区间为 95%<sup>[4]</sup>。

对色差公式 A、B 的优劣评价可分为以下等级:

- (1) 当  $F < F_c$  时,色差公式 A 明显优于色差公式 B;
- (2) 当  $F > 1/F_c$  时,色差公式 A 明显劣于色差公式 B;
- (3) 当  $F_c \leq F < 1$  时,色差公式 A 不明显优于色差公式 B;
- (4) 当  $1 < F \leq 1/F_c$  时,色差公式 A 不明显劣于色差公式 B;
- (5) 当  $F = 1$  时,色差公式 A 等同于色差公式 B。

由图 1 可知,随老化时间增加,色差呈增加趋

势。由各公式计算所得的色差从数值上看差异并不明显。对各公式进行 STRESS、PF/3 值计算以及  $F$  检验,综合分析表 1 和表 2 的结果,可得到 5 种色差公式对义齿基托树脂色差的预测,优劣顺序为: CIECAM02-SCD 最优,其次为 CMC, DE2000 和 CIECAM02-UCS 再次之,DE2000 略优于 CIECAM02-UCS, CIECAM02-LCD 最差。

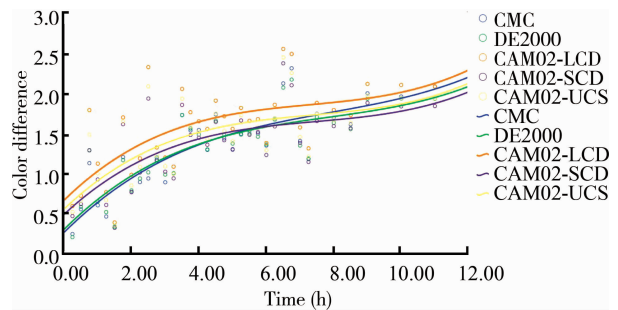


图 1 义齿基托树脂试片色差值随老化时间变化曲线

Figure 1 Changing curve of specimen color difference along with the aging time

### 3 讨论

在现行标准中,对义齿基托树脂色稳定性的检测方法仍为肉眼观察,然而目测法容易受到多种主观因素的影响,诸如视觉疲劳、观察者的经验、敏锐性等。本研究的目的在于探讨使用更为客观的仪器法对颜色的变化进行测量,并将所得数据的计算结果与人眼的观测结果相比较,以期找到最适合评价义齿基托树脂色差水平的公式,探讨仪器法测量、判断义齿基托树脂变色色差的可行性。

颜色不是纯物理量,而是外界刺激作用到人眼形成的色感觉,继而通过大脑的分析、判断并与人的经验相结合形成对颜色的知觉。颜色涉及观察者的视觉生理、视觉心理以及照明条件、观察条件等许多问题。目前色度学的发展已经经历了 3 个阶段,即色匹配阶段、色差阶段和色貌阶段。经典的色度学对观察背景和不同照明水平等条件下引起的色适应、色对比等视觉现象并没有从量化上给出精准的预测<sup>[7]</sup>,因此,仅仅在基础色度学范围内讨论色差

的计算是不够的。娄丽丽等<sup>[8]</sup>对义齿基托树脂的色稳定性仪器检测方法进行了初步的研究,讨论了分光光度测色仪检测义齿基托树脂色稳定性的可行性,并对色差宽容度进行了初步的探讨,然而,该研究中色差宽容度的计算还是局限于基础色度学中,对试验中观察背景等条件对视觉实验结果的影响并未予以考虑。本实验在娄丽丽等<sup>[8]</sup>的研究基础之上,增加了含有色貌模型的分析计算。

色貌是与色刺激和材料质地有关的颜色主观表现。色貌的属性包括色调、明度、视明度、视彩度、彩度、饱和度等。国际照明委员会(International Commission on Illumination, CIE) 1~34(TC1-34)对色貌模型的定义是:至少要包括对相关的色貌属性(如明度、彩度和色调)进行预测的数学模型。对这些属性的合理预测,要求模型至少有一个色适应变换,更加复杂的则包括对视明度和视彩度的预测。因此,色貌模型是指依据特定照明、背景以及周边环境等条件下的 CIE 色度参数(如三刺激值),进行色貌属性参数计算或预测的数学模型<sup>[2]</sup>。

本文是利用分光光度测色仪对义齿基托树脂试片颜色参数的准确测量<sup>[9]</sup>,将测量值代入包括色貌模型色差公式在内的 5 种常用色差公式,求得相应的色差值  $\Delta E$ ;同时,设计严谨的视觉实验(严格控制观察条件,包括视角、视距、观察时间;综合考虑观察者的敏锐性,包括经验、避免出现疲劳等)得出视觉数据,再通过计算统计学参数,比较各公式所得色差数据与视觉数据的相关性,对更适合计算义齿基托树脂色差的方法进行对比和探讨。

由表 1 可以得出结论, CIECAM02-SCD 公式所得数据与视觉实验所得视觉色差数据的相关性最好,即最能模拟人眼,其次为 DE2000、CMC 公式。从表 2 可看出, CIECAM02-SCD 公式明显优于 DE2000、CAM02-LCD、CAM02-UCS,而对 CMC 的优势并不是十分明显。综合分析, CAM02-SCD 公式为较符合义齿基托树脂的公式,可以采用此公式对义齿基托树脂的色差进行计算。因此,采用仪器法对义齿基托树脂的色稳定性进行检测是可行的。

当然,使用仪器法对义齿基托树脂色稳定性进行检测还存在一些问题,首先,大多数视觉研究依赖于心理物理实验的结果,因此在设计视觉实验时,必须考虑各种因素对视觉实验结果的影响<sup>[10]</sup>,如观察者的敏锐性、经验、适应的状态、人眼视觉运动的历史与控制、背景的条件等。本实验严格规定了观察条件(视角、视距等),并要求观察者在进行视觉判断前,充分适应实验条件,但颜色终究是外界刺激作用到人

眼,继而通过大脑的分析、判断并与人的经验相结合形成的直觉,涉及观察者的视觉生理、视觉心理等方面的反应。将试件以随机的顺序交给观察者进行判断,也可能由于相邻两个试件的色差过大,而对后一个试件的色差判断造成影响。这种误差在今后的研究中可以通过细化强度刺激等级,以及增加观察者的数量等措施予以减少。另外,本实验中所采用的试件制作方法仍参照现行标准中目测法检测义齿基托树脂色稳定性时的规定,但由于对颜色精确测量的需要,对试件的制作也应提出更加严格的要求,如试件颜色的均匀性,测量点的位置分布等。图 1 为 5 种色差公式计算所得不同老化时间造成的不同色差,由图可知,随着老化时间的延长,色差呈增大的趋势,但图中有的点离散于拟合曲线之外,可能是在 35 个试片进行老化处理前,因采用肉眼观察挑选试片,使相邻两试片之间存在人眼所不能察觉的原始色差,这既说明了仪器法测量的准确性,也对仪器法检测义齿基托树脂色稳定性的试件制作精准性提出了要求。

本实验使用分光光度测色仪对义齿基托树脂色稳定性进行评价研究,并验证了引入 CIECAM02 色貌模型研究义齿基托树脂色稳定性的必要性,进一步完善了分光光度测色仪检测义齿基托树脂色稳定性的方法。在评价颜色色差方面,仪器法有目测法所不可比拟的可重复性和准确性,虽然目前仍处于研究探索阶段,但随着色度学研究的深入,仪器法会不断得到完善,并将成为评价义齿基托树脂产品色稳定性的标准方法。

#### 参考文献

- [1] 刘文一, 贺铭鸣, 郑睿. YY 0270-2003 牙科学义齿基托聚合物[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 3-7.
- [2] 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 80-92.
- [3] Luo MR, Cui G, Rigg B. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000 [J]. *Color Res Appl*, 2001, 26(5): 340-350.
- [4] Luo MR, Cui G, Li C. Uniform colour spaces based on CIECAM02 colour appearance model [J]. *Colour Res Appl*, 2006, 31(4): 320-330.
- [5] Guan SS, Luo MR. Investigation of parametric effects using small colour differences [J]. *Col Res Appl*, 1999, 24(5): 331-343.
- [6] García PA, Huertas R, Melgosa M, et al. Measurement of the relationship between perceived and computed colour differences [J]. *J Opt Soc Am A*, 2007, 24(7): 1823-1829.
- [7] Fairchild MD. Color appearance models and complex visual stimuli [J]. *J Dent*, 2010, 38(Suppl 2): e25-33.
- [8] 娄丽丽, 郑刚, 林红, 等. 分光光度法与目测法测量义齿基托树脂色稳定性的比较研究 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2011, 46(4): 241-244.
- [9] Johnston WM. Color measurement in dentistry [J]. *J Dent*, 2009, 37(Suppl 1): e2-6.
- [10] CIE. CIE 101 1993-1-1. Parametric effects in colour-difference evaluation (1st Edition) (E) [S]. Vienna: CIE Pub., 1993: 3-9.

(2012-09-27 收稿)  
( 本 文 编 辑 : 任 英 慧 )