



作者

Jillian F. Dlugos
Glenelg High School
Glenelg, MD USA

Jeffrey L. Taylor, Ph.D.
PerkinElmer, Inc.
Shelton, CT USA

人类皮肤的可见光 反射光谱: CIEL*a*b* 颜色分析在不同 人种皮肤表征中 的应用

引言

已经有很多人尝试通过使用颜色判别标准科学地表征不同人种的皮肤类型，其中大多数方法都是基于肉眼观察对皮肤颜色的评价。最常用的评价方法是哈佛大学的皮肤病学家Thomas B. Fitzpatrick在1975年提出的基于数值分类图表的Fitzpatrick标度。该方法将皮肤类型划分为6个类别。对于保健和护肤品行业，该方法也被认可用作划分人类皮肤对可见光响应的皮肤

病学研究工具之一。Fitzpatrick标度是更早期的Von Luschan色度的现代化，后者使用36块不透明的玻璃片表征皮肤的颜色。图1所示为Von Luschan玻璃片描述的人类皮肤的颜色范围。Fitzpatrick标度将这些颜色划分为6种皮肤类型：白化、白色、淡棕色、地中海棕色、深棕色、黑色。

直观比较实验对象的皮肤与标准玻璃片的颜色，找出最接近的匹配。这种视觉检查和比较的方法现在看来是存在误差的，因为其结论受主观因素影响是易变的，在很多实例中不同研究者对同一实验对象的测试结果是不同的。

视觉检查结果的差异主要是因为人眼对颜色敏感度的变化和
环境照明条件的不同。目前视觉方法已经逐渐被反射分光光度法所取代，因为后者不会受制于人体和环境的变动。

| | | | | | | |
|--|---|----|--|--|----|----|
| | 1 | 10 | | | 19 | 28 |
| | 2 | 11 | | | 20 | 29 |
| | 3 | 12 | | | 21 | 30 |
| | 4 | 13 | | | 22 | 31 |
| | 5 | 14 | | | 23 | 32 |
| | 6 | 15 | | | 24 | 33 |
| | 7 | 16 | | | 25 | 34 |
| | 8 | 17 | | | 26 | 35 |
| | 9 | 18 | | | 27 | 36 |

图1.Von Luschan颜色标度。

配备有积分球的分光光度计可以精确测量人体皮肤的反射光谱，还可以配置颜色分析的数学方法，使肤色评价成为一种严密、可重复、准确的技术。颜色分析的数学方法使用样品的百分比反射率光谱、给定照明光源的光谱响应曲线以及三种人眼可见颜料的光谱灵敏度，得到反映样品视觉颜色的量化标准。也就是说，现代光谱颜色分析方法可以计算出颜色的数值，对应于人眼在特定照明条件下看到的颜色。

反射光谱测量的数据与样品的化学成分直接相关。人类皮肤分为三个亚层：角质层（起保护作用的一层死细胞）、表皮层和真皮层。反射光谱可以穿透上述三个皮肤亚层，包含其化学成分信息。表皮层仅由细胞构成，其底部有内含黑色素的黑色素细胞。表皮层的主要化学成分是蛋白质（色氨酸、苯丙氨酸和酪氨酸）、DNA、黑色素和尿酸。真皮层除了含有细胞之外，还包含神经和毛细血管。真皮层的化学成分还包括氧合血红蛋白、还原血红蛋白和胆红素。

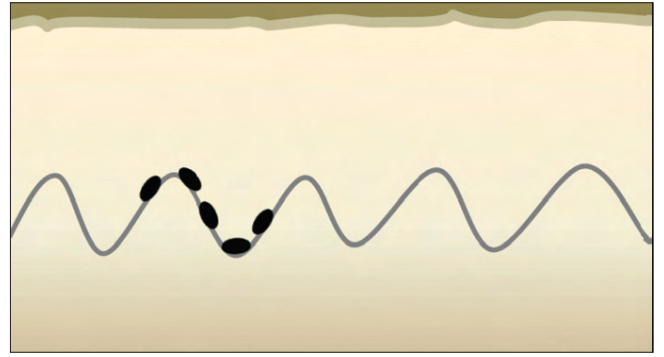


图2.反射光谱中涉及到的皮肤结构层次。

本研究将通过颜色分析方法评价Von Luschan颜色图表玻璃片和不同人种皮肤的反射光谱。尽管光谱颜色分析方法比直观检查更加可靠，但是对于理解人类皮肤着色的化学机理该方法仍有一些不足。颜色分析方法虽然可以很好地测量肉眼看到的颜色，但是仅限于定性评价样品可见光的颜色性质。

实验

样品反射光谱的测量使用装有150 mm Spectralon积分球的LambdaX50紫外-可见-近红外光谱仪。使镜面反射口保持原位，以便获得全反射光谱。将实验对象的前臂内侧放置于积分球的漫反射口，采集皮肤样品的光谱。Von Luschan玻璃片的光谱也使用漫反射口进行测量。图3所示为150 mm积分球处于全反射模式时的样品光路。镜面反射光和漫反射光都被收集。为了全面研究不同类型的人类皮肤，本研究中测量了从轻度白化到美国黑人等多个人种的实验对象。

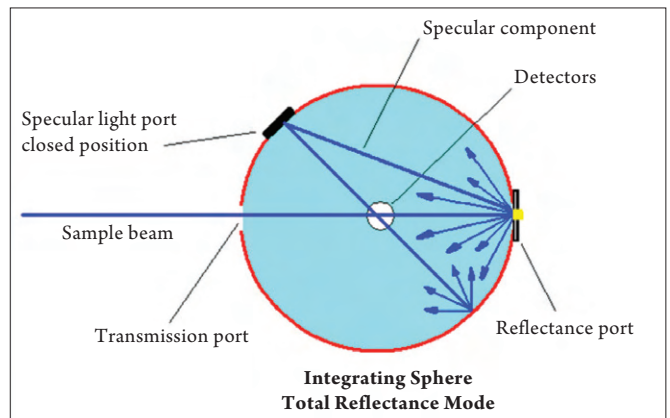


图3.150 mm积分球中的光路。

样品光谱的显示和处理使用PerkinElmer的UV WinLab™ V6谱图分析软件。样品的颜色分析使用PerkinElmer的颜色分析软件，按照国际照明委员会CIE 1976 L*a*b*规程使用400~700 nm的标准波长范围。该分析方法使用CIE 1964 10° 标准观察者以及标准光源C（代表了对应色温为6774K的平均日光照明）。

本研究在颜色分析过程中选择了CIE L*a*b*颜色空间。L*a*b*颜色空间将色度分量和亮度分量进行分离，使得对样品的色度和亮度分别进行研究成为可能。

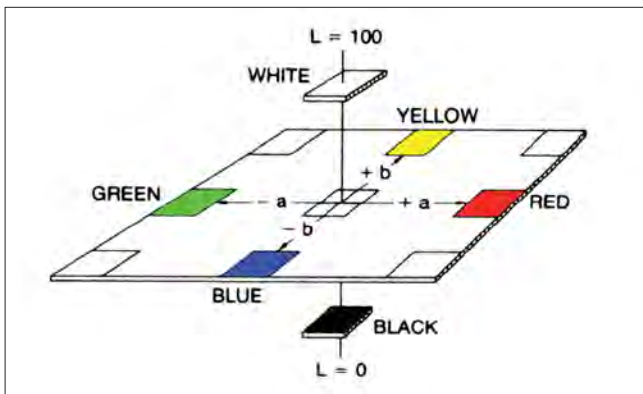


图4.L*a*b*颜色空间。

图4形象地说明了一个典型的L*a*b*颜色图中L*分量和a*b*分量的分离。在这个三维空间中，x轴代表绿色/红色（a*），y轴代表蓝色/黄色（b*），z轴代表暗度/亮度（L*）。色度和亮度的分离对于肤色分析是非常重要的。人类肤色的亮度主要决定于表皮层底部的黑色素含量，而皮肤色度的主导因素是真皮层的血红蛋白和胆红素。

既然我们可以对颜色进行量化地测量，也就可以将人类皮肤与Von Luschan玻璃片进行比较。关键问题在于：Fitzpatrick标度中使用的玻璃片与人类皮肤的颜色接近程度何时才算是匹配？由于使皮肤和玻璃片产生颜色的化学成分差异很大，这是一个需要考虑的问题。

结果

在人类皮肤光谱中，可见光的波长能够穿过相对透明的表皮层，与富含血管的真皮层中复杂多样的化学成分发生相互作用。图5所示为剥离的猪皮表皮层的百分比透射光谱。对于可见光的波长来说，表皮层是相对透明的，仅因为散射过程而减弱到达真皮层的可见光（400 nm以上区域）。400 nm以下的紫外光被尿酸、DNA的核酸环和蛋白质的芳香氨基酸等细胞成分所吸收。表皮层的广泛吸收表现为280 nm附近的吸收峰。

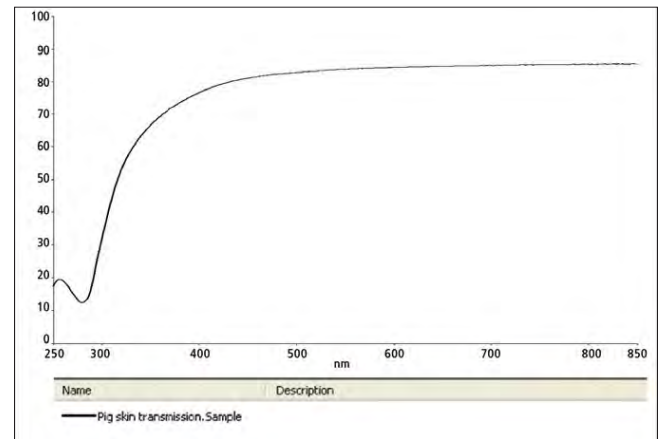


图5. 猪皮表皮层的百分比透射光谱。

皮肤的反射光谱主要决定于真皮层的化学成分，随不同人种皮肤类型而变化。血红蛋白和黑色素含量的变化使光谱形状有显著的改变，如图6所示。

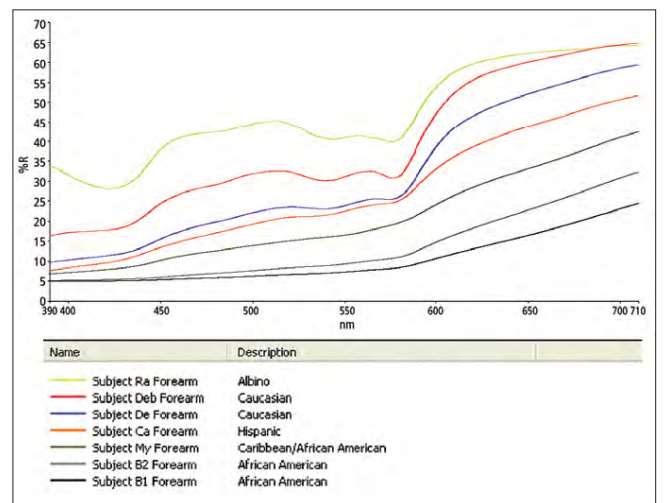


图6.不同人种皮肤类型的反射光谱。

对于白化等透明的皮肤类型，入射光较深地穿透到真皮组织。在可见光区域的中部，氧合血红蛋白的双峰（540和580 nm）在光谱上清晰可见。还原血红蛋白在560 nm处的单个吸收峰被氧合血红蛋白的吸收峰所掩盖。氧合与还原血红蛋白的重叠宽峰出现在425 nm。胆红素在540 nm处有一个小的吸收峰。真皮层组织中有丰富的血液供应，所以全部成分都可以观察到。

黑色素是由酪氨酸衍生得到的黑色高分子，对于皮肤的光谱有显著的影响。从200 nm到超过1000 nm的近红外区域，黑色素都具有非常宽的吸收。黑色素集中存在于黑素细胞中，这种特殊的细胞分布在表皮层底部的基底细胞层（表皮生发层）。肤色越深，紧贴真皮层的表皮层底部（如图2所示）分布的黑素细胞越多。黑素细胞的数量越多，阻止有害紫外线到达真皮层的能力越强。如果光线被黑素细胞吸收，也就不会

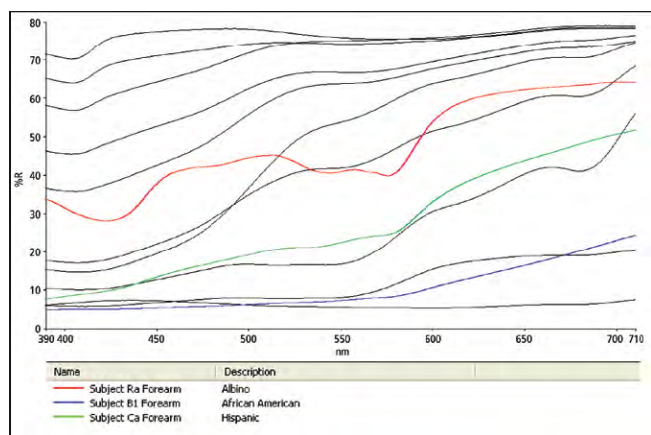


图7 Von Luschan玻璃片与不同人种皮肤类型的光谱比较。

到达真皮层并与其中的成分发生相互作用。皮肤的颜色加深时，其光谱上与真皮层化学成分相关的谱图特征开始消失。黑人皮肤的光谱仅包含与黑色素反射相关的谱图特征。黑色皮肤的反射率随波长的渐变主要是因为黑色素的吸光系数随波长增加而递减。

现在，我们需要考虑如何比较人类皮肤与用于表征肤色类型的Von Luschan玻璃片的反射光谱。图7显示了三种有代表性的皮肤类型（红色光谱-白化型，绿色光谱-西班牙型，蓝色光谱-黑人型）与相应范围内Von Luschan玻璃片（黑色光谱）的光谱重叠。两组光谱的吸收峰结构特征基本没有相关性。如果考虑到玻璃片的颜色产生于无机颜料而皮肤的颜色产生于芳香类生物体成分，上述现象并不意外。这两类化合物的电子

成键特征是显著不同的。很多玻璃片的光谱显示出无机化合物典型的截断特征，而皮肤的光谱有很多的吸收峰特征。

使用CIE L*a*b*颜色分析法对Von Luschan玻璃片的反射光谱进行分析，结果总结于表1。表中还对代表亮度的L*值与Fitzpatrick皮肤类型进行了关联。

| 表1. Von Luschan玻璃片的CIE L*a*b*颜色分析结果 | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------|
| Von Luschan's Plate # | L | a | b | Fitzpatrick Scale |
| Blank | 90.19 | -0.40 | -1.21 | |
| Number 1 | 88.59 | -0.04 | -2.17 | |
| Number 2 | 87.46 | -0.64 | -0.78 | |
| Number 3 | 90.07 | -0.69 | -0.46 | |
| Number 4 | 89.62 | -1.75 | 6.72 | Type I (scores 0-7) |
| Number 5 | 88.73 | -0.49 | 5.17 | L = 100 - 85 |
| Number 6 | 88.68 | -0.88 | 5.91 | |
| Number 7 | 88.12 | 1.45 | -0.18 | |
| Number 8 | 86.98 | 0.56 | 0.47 | |
| Number 9 | 87.94 | -0.58 | 0.92 | |
| Number 10 | 90.18 | -0.90 | 1.48 | |
| Number 11 | 89.12 | -0.57 | 2.95 | Type II (scores 8-14) |
| Number 12 | 88.56 | -0.79 | 7.22 | L = 100 - 86 |
| Number 13 | 88.99 | -1.60 | 8.24 | |
| Number 14 | 89.00 | -1.63 | 8.32 | |
| Number 15 | 85.06 | -1.05 | 12.32 | |
| Number 16 | 83.08 | -1.12 | 19.49 | |
| Number 17 | 80.09 | -1.84 | 25.02 | |
| Number 18 | 82.82 | -0.32 | 29.05 | |
| Number 19 | 80.93 | 0.77 | 21.72 | |
| Number 20 | 80.36 | -0.26 | 35.82 | |
| Number 21 | 77.10 | 2.46 | 41.80 | Type III (scores 14-26) |
| Number 22 | 76.56 | 2.81 | 39.00 | L = 85 - 60 |
| Number 23 | 75.60 | 3.60 | 26.83 | |
| Number 24 | 75.77 | 3.61 | 27.16 | |
| Number 25 | 71.32 | 2.99 | 27.96 | |
| Number 26 | 68.47 | 4.02 | 24.32 | |
| Number 27 | 57.44 | 10.53 | 21.54 | Type IV (scores 27-29) |
| Number 28 | 53.02 | 14.02 | 17.75 | L = 59 - 40 |
| Number 29 | 46.33 | 10.86 | 16.55 | |
| Number 30 | 39.61 | 11.97 | 13.22 | |
| Number 31 | 38.41 | 12.62 | 11.93 | Type V (scores over 30) |
| Number 32 | 37.78 | 11.37 | 11.09 | L = 40 - 35 |
| Number 33 | 36.61 | 8.70 | 7.64 | |
| Number 34 | 30.60 | 5.95 | 5.78 | |
| Number 35 | 30.83 | 2.37 | -0.36 | Type VI |
| Number 36 | 28.94 | 1.22 | -5.40 | L = 35 - 0 |

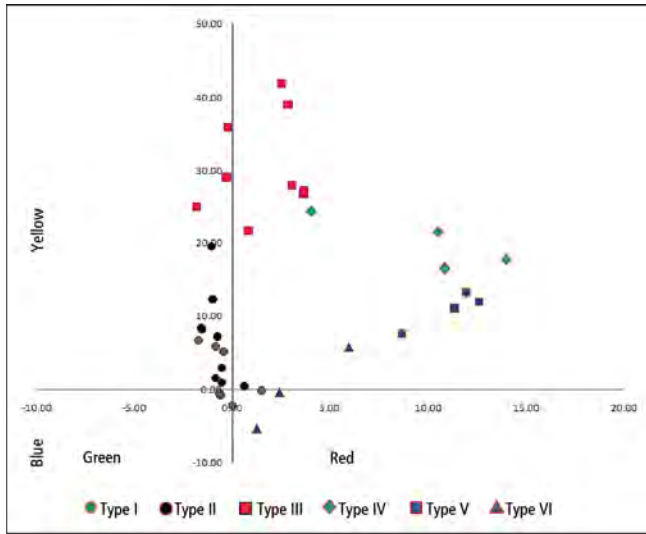


图8.Von Luschan玻璃片的CIE a*b*色度图

玻璃片的L*值从89（浅色）到29（深色）不等，分布范围达到了60个L*单位。在色度值确定之后，Von Luschan玻璃片颜色的人为因素开始变得明显。图8将色度值a*对b*做图，x轴代表红色/绿色分量，y轴代表蓝色/黄色分量。颜色最浅的玻璃片是黄绿色的，而颜色较深的玻璃片中红色分量更多。颜色最深的玻璃片是蓝红色的。正常情况下，健康的人类皮肤中不会出现蓝色和绿色。

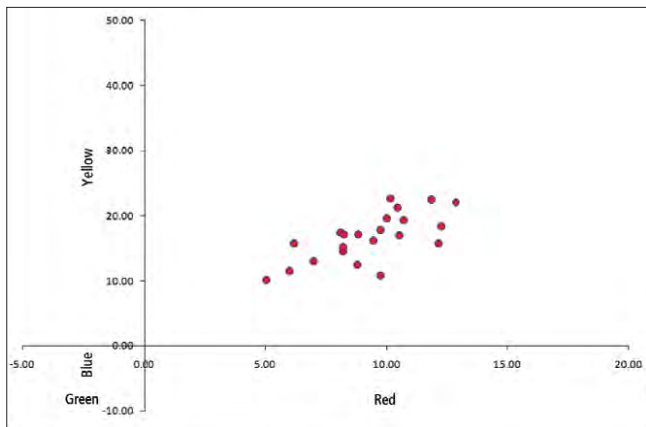


图9. 不同人种前臂皮肤反射光谱的CIE a*b*色度图

图9所示为不同人种实验对象的皮肤反射光谱的色度图。注意，数据点在黄色-红色象限内集中分布为一组。随着皮肤颜色从白化型到黑人型的加深，黄色-红色色度值呈增加趋势。毫无疑问，这是因为人类皮肤的颜色主要确定于真皮层中存在的血红蛋白和胆红素成分。

表2. 不同人种皮肤（前臂）的CIE L*a*b*颜色分析结果

| Forearm Spectra | Ethnic Group | L | a | b |
|-----------------|------------------|-------|-------|-------|
| Subject Ra | Albino | 72.86 | 5.02 | 10.24 |
| Subject TRA | Albino | 71.67 | 5.98 | 11.61 |
| Subject Ta | Light Caucasian | 70.45 | 7.00 | 13.09 |
| Subject TJA | Light Caucasian | 69.89 | 8.21 | 14.60 |
| Subject Ja | Light Caucasian | 69.31 | 9.45 | 16.19 |
| Subject Ji1 | Caucasian | 67.55 | 9.77 | 17.89 |
| Subject Ch | Caucasian | 67.38 | 6.17 | 15.80 |
| Subject Gr | Caucasian | 66.46 | 8.83 | 17.25 |
| Subject Ne | Caucasian | 66.32 | 8.82 | 12.62 |
| Subject Ji2 | Caucasian | 66.03 | 8.11 | 17.45 |
| Subject Deb | Caucasian | 66.00 | 10.52 | 17.08 |
| Subject St2 | Caucasian | 65.37 | 8.27 | 17.23 |
| Subject Je | Tanned Caucasian | 64.01 | 8.21 | 15.25 |
| Subject Ka | Tanned Caucasian | 63.43 | 10.45 | 21.23 |
| Subject Ki | Tanned Caucasian | 59.55 | 10.72 | 19.43 |
| Subject De | Tanned Caucasian | 59.44 | 12.88 | 22.14 |
| Subject Ca | Hispanic | 56.76 | 10.17 | 22.66 |
| Subject Ci | African American | 54.37 | 11.84 | 22.58 |
| Subject St1 | Caribbean | 52.43 | 12.25 | 18.42 |
| Subject My | Caribbean | 49.87 | 10.01 | 19.66 |
| Subject B2 | African American | 39.07 | 12.15 | 15.82 |
| Subject B1 | African American | 34.46 | 9.77 | 10.93 |

完整的人类皮肤颜色L*a*b*数据收集于表2中。从中可见，皮肤的L*值从73（浅色）到34（深色）不等。比较Von Luschan玻璃片与人类皮肤的L*值，可以发现皮肤的L*值分布范围更窄，仅有39个单位，而Von Luschan玻璃片的L*值分布范围达到了60个单位。皮肤的L*值分布范围更窄的主要原因很可能在于起反射作用的细胞的表面结构。与玻璃片相比，皮肤的表面质地更加粗糙。表面质地对于漫反射光谱有很重要的影响。漫反射样品的表面越平滑，看起来就越明亮。因为“粗糙”的表面包含微小的孔洞和缝隙，可以捕捉入射光而阻止其反射。表面的凹凸不平越多或越大，看起来就越暗。也就是说，对于同等肤色的实验对象，干燥粗糙的皮肤看起来要比光滑的皮肤更暗一些。

结论

对于不同人种的肤色分析，使用配有150 mm标准积分球的紫外-可见分光光度计和CIE L*a*b*颜色分析法是一套切实可行的方法。该方法是具有很好重复性的定性分析技术，优于以前那些基于经验观察的方法。真实的人类皮肤与Von Luschan玻璃片的L*a*b*数据有明显的差异。对做为Fitzpatrick标度基础的Von Luschan玻璃片的分析结果表明，玻璃片的生色成分与表面质地导致了人为颜色的存在。通过大量不同类型皮肤的L*a*b*数据库，可以很简便地对Fitzpatrick标度进行评估。

PerkinElmer, Inc.

珀金埃尔默仪器（上海）有限公司

地址：上海 张江高科技园区 张衡路1670号

邮编：201203

电话：021-60645888

传真：021-60645999

www.perkinelmer.com.cn



要获取全球办事处的完整列表，请访问[http:// www.perkinelmer.com.cn/AboutUs/ContactUs/ContactUs](http://www.perkinelmer.com.cn/AboutUs/ContactUs/ContactUs)

版权所有 ©2012, PerkinElmer, Inc. 保留所有权利。PerkinElmer® 是PerkinElmer, Inc. 的注册商标。其它所有商标均为其各自持有者或所有者的财产。