

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2023.10.050

•综述•

皮肤光泽度的研究进展

尤荣, 唐洁, 欧健, 张晨颖, 张廷志
(水羊集团股份有限公司, 湖南 长沙 410000)

【摘要】健康且具有吸引力的肌肤往往具有饱满、红润、光滑、细腻、有光泽等特点, 其中光泽度是反应肌肤健康状况的一个重要指标, 缺乏光泽度的皮肤往往干燥、粗糙、暗沉。然而, 与光泽相关的皮肤特性目前仍未得到足够的重视, 相应的机理研究也较少。本文从组织光学、影响因素、测试方法3个方面总结了国内外皮肤光泽度的相关研究进展, 以为皮肤美白、提亮、滋养等相关的功效设计提供参考依据。

【关键词】皮肤光泽度; 组织光学; 影响因素

中图分类号: TQ658.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-4949 (2023) 10-0184-04

Research Progress of Skin Glossiness

YOU Rong, TANG Jie, OU Jian, ZHANG Chen-ying, ZHANG Ting-zhi

(S'YOUNG Group Co., Ltd., Changsha 410000, Hunan, China)

【Abstract】 Healthy and attractive skin is often full, ruddy, smooth, delicate, glossy and other characteristics. Glossiness is an important indicator of skin health, and the lack of glossiness is often dry, rough, dark. However, the skin characteristics related to gloss have not received enough attention, and the corresponding mechanism research is less. This paper summarizes the research progress of skin glossiness at home and abroad from three aspects: tissue optics, influencing factors and test methods, in order to provide reference for skin whitening, brightening, nourishing and other related efficacy design.

【Key words】 Skin glossiness; Tissue optics; Influencing factors

皮肤光泽度 (skin glossiness) 是衡量皮肤表面反射光量的指标, 反应肌肤健康状况。1987年, 国际照明协会定义光泽度为“由于表面方向性选择特性导致的感知的物体反射高光外观模式”, 明确光泽度与视觉感知相关^[1]。皮肤光泽度的视觉感知机制复杂, 涉及皮肤的光学特性、光照环境、人脑处理视觉信息的方式等, 与光学、组织光学、认知心理学等多学科相关。目前, 日化领域皮肤光泽度的研究主要集中在影响因素和测试方法, 常用测试方法有人体功效测试、图像处理 and 临床评估等^[2-4]。随着提亮、滋养等概念的兴起, 光泽度越来越受到关注。本文围绕皮肤组织光学、影响因素、定量测试方法, 对国内外对皮肤光泽度的研究成果作一综述, 以为功效设计及测试提供思路。

1 皮肤光泽度与组织光学

皮肤组织包括表皮层、真皮层和皮下组织等多层结构, 是半透明的非均匀浑浊介质。光入射皮肤组织, 发生复杂的光学反应, 包括皮肤表面的反射、进入下表面后的散射、反射、折射、吸收以及透射等^[5]。当皮肤表面粗糙度小于入射光波长的区域时, 存在入射角与反射角相等的光, 即为镜面反射光, 在粗糙度远大于入射光波长的区域则发生表面漫反射, 约5%的光会被表面反射, 大部分光会进入皮肤组织中。经过多次散射后, 一部分光会重新散射到角质层和空气的界面而后折射到空气中, 这部分光为下表面漫反射光^[6]。皮肤光泽度与镜面反射光和漫反射相关, 其中漫反射又可分为表面漫反射和下表面漫反射。通常, 皮肤漫反射指的是下表面

第一作者: 尤荣 (1995. 2-), 女, 浙江宁波人, 硕士, 主要从事化妆品配方相关研究

通讯作者: 唐洁 (1995. 6-), 女, 山东菏泽人, 硕士, 主要从事化妆品配方相关研究

引用格式: 尤荣, 唐洁, 欧健, 等. 皮肤光泽度的研究进展[J]. 医学美容, 2023, 32(10): 184-187.

收稿日期: 2023-04-05

修回日期: 2023-04-15

漫反射。

1.1 折射率 光入射到不同的介质，在界面发生反射和折射。被反射的光遵循Fresnel定律： $R_s=1/2\{[\sin^2(\alpha_0-\alpha_i)/\sin^2(\alpha_0+\alpha_i)]+[\tan^2(\alpha_0-\alpha_i)/\tan^2(\alpha_0+\alpha_i)]\}$ ；被折射的光遵循Snell定律： $n_0\sin\alpha_0=n_i\sin\alpha_i$ ；上式中， α_0 和 α_i 分别表示入射角和折射角， n_0 和 n_i 表示上下两层不同介质的折射率。由上式可知，折射率以及入射角都对反射有影响，皮肤表面同样遵循以上定律。在模拟应用中，需要考虑皮肤与空气的折射，表皮层和真皮层的折射率则被认为一致^[6]。皮肤镜面反射主要与皮肤表面形貌和纹理相关^[7]。

1.2 吸收系数 吸收系数 μ_a (Absorption Coefficient)指单位长度下单个光子被吸收的概率(单位为 cm^{-1})。 $I_t=I_0\cdot e^{-\mu_a d}$ (其中入射光强度为 I_0 ，介质厚度为 d ，透射光强度为 I_t)。在紫外及可见-近红外光波段范围内，表皮层中的主要吸收物质为黑色素，真皮层和皮下组织层含有血管，血液中的氧合血红蛋白和去氧血红蛋白及水是主要的光吸收物质^[8]。

1.3 散射系数 散射系数 μ_s ， s 定义为单粒子的散射截面 $\sigma_s(\hat{S})$ 为被散射的总光功率 $P_{sca}(\hat{S})$ 与入射光强 I_0 之比： $\sigma_s(\hat{S})=P_{sca}(\hat{S})/I_0$ ；混合介质中，散射系数(Scattering Coefficient, cm^{-1})可由多个散射粒子数 ρ 和散射截面 σ_s 的乘积之和计算得到： $\mu_s(\lambda)=\sum \mu_{s,i}(\lambda)=\sum_i \rho_{s,i}(\lambda)$ ；皮肤组织中，表皮的散射介质主要是角质蛋白纤维，而真皮的散射主要是由微米级别的胶原纤维束引起的Mie散射和纳米级别的胶原纤维、其他细胞结构(线粒体、细胞核)引起的瑞利散射共同作用的结果，胶原纤维和弹性纤维是真皮层中最主要的散射体，其直径一般与紫外-可见光波长相当或者略长^[9]。

1.4 各项异性因子 生物组织介质中，相位函数的各向异性程度可用各向异性因子表示。各向异性因子散射角的余弦加权平均值，是散射的另一个主要特性，用来度量散射各项异性的程度。

1.5 各参数间关系 皮肤组织的表皮层和真皮层折射率的变化对漫反射率的影响较皮下组织层折射率变化的影响大，漫反射率随着折射率的增大而减小。吸收系数和散射系数影响漫反射率，漫反射率随吸收系数增大而减小，随散射系数的增大而增大，随各向异性因子的增大而减小^[10, 11]。

2 皮肤光泽度的影响因素

影响皮肤光泽度的因素较多。从外部考虑有环境因素如空气污染、紫外线和极端温度，不良生活方式如压力、吸烟、饮酒、睡眠不足，内部因素如荷尔蒙、年龄和遗传等均会影响皮肤光泽^[12]。从组织光学角度考虑，光泽度与镜面反射和漫反射及两者的相对强度和镜面反射光的分布相关。镜面反射取决于皮肤表面的性质和状态，与折射率和表面漫反射相关；漫反射主要受吸收系数和散射系数影响。吸收系数主要取决于黑色素、血红蛋白和含水量；散射系数主要与胶原纤维和弹性纤维相关^[9]。色度方面，赋予透明感的色度在个体中差异较大，但在个体内部是稳定的，每个研究对象都存在使皮肤透明感增加的最佳色度^[13]。Masuda Y等^[14]开发出了可高精度估计肌肤透明感的数理模型，定量地、系统地说明了有关肌肤透明感的机制，结果表明，在纹理细腻、黑色素量少、血红素量少、角质层水分量多的皮肤中，漫反射光较大，透明感强。Nakamura R等^[15]通过客观测量皮肤属性构建数学模型以预测皮肤透明度，研究发现肤色明度、光泽度对皮肤透明度有正向影响，肤色、肤色不均匀度、红斑、暗斑严重程度对皮肤透明度有负向影响。Ichiro I等^[16]发现角质层蛋白质羧基化水平高的女性皮肤透光率显著降低。

2.1 皮肤表面形貌 皮肤表面形貌是影响皮肤光泽度的重要因素之一。Masuda Y等^[12]研究了皮肤光泽与皮肤表面形貌的关系，如纹理的精细度、角质层细胞表面的凹凸程度、毛孔的大小、皮丘上的凹凸等均有可能影响镜面反射光，发现增加皮肤的镜面反射光，最有效的方法是使角质层细胞表面平滑化。

2.2 含水量 舒均中等^[17]考察5种保湿产品对皮肤光泽度的影响，皮肤光泽度与角质层水分含量存在一定的正相关性($R^2=0.9975$)。另有研究表明^[14]，剥落的角质层所含水分量在20%~37%时透光率增大，含水量超过一定程度反而下降。这可能是因为角质层的主要成分角蛋白的折射率为1.54，水的折射率为1.33，角质层的含水量越高则折射率越低。如果角质层的折射率越低，越接近空气的折射率1.00，光就越容易进入表皮内，导致皮肤的镜面反射变小，漫射光增加，透明感增强。由此可以推测，虽然含水量增加，光透射率会上升，但如果角质层中含有过多的水分，角

质层就会膨润,厚度发生变化,从而引起透射率下降。

2.3 羰基化 蛋白质羰基化指蛋白质被大量的活性物质氧化修饰,将羰基如醛、酮和内酰胺引入蛋白质的氨基酸侧链的过程^[18]。日常生活中紫外线等外界影响直接导致角质层内抗氧化物质的减少,皮脂生成过氧化脂质间接地使角质层蛋白质羰基化。角质层位于肌肤最外侧,入射光透出皮肤需要两次经过角质层,光进入量和释放量由角质层的透明度决定,对皮肤光泽度有较大影响。Ichiro I等^[16]研究发现,在内部反射光较多的情况下,皮肤看起来“光滑、有光泽、湿润,健康而富有魅力”。角质层蛋白质羰基化水平高的女性皮肤透明感评分显著偏低,透光率显著降低。这可能是由于角质层的角蛋白纤维羰基化,引起角蛋白纤维结构的构造状态发生了改变,导致角质层的散射特性增加,透射率减少,皮肤的下表面反射光减少,从而使皮肤失去透明感。但角层透明度对透明感的贡献度尚不明确,需要进一步研究。

2.4 黑色素和血红素 皮肤的颜色主要取决于黑色素和血红蛋白的浓度和分布,在皮肤光泽中起着重要作用。黑色素(棕色)吸收所有波长,但从紫光到红光波段这种吸收显著减少,这使得黑色素看起来像灰色(整体吸收)和黄色(显著吸收蓝色)的混合物。血红蛋白如果没有足够的氧气,皮肤就会发灰暗淡。如果微循环得到有效刺激,光线将更容易被从皮肤颜色来源的红细胞反射^[4]。

2.5 胶原纤维和弹性纤维 He YF等^[19]选取36~49岁女性研究皮肤各生理参数与皱纹之间的关系,结果发现皮肤弹性参数R2、R5和R7与皮肤光泽度之间存在显著的正相关性($P < 0.01$)。皮肤弹性在很大程度上与皮肤胶原纤维和弹性纤维的状况有关^[20]。因此,提高皮肤胶原纤维和弹性纤维的含量一定程度上可以提高光泽度。

3 皮肤光泽度的测试方法

影响光泽度的因素及对应的测试技术见表1。然而,目前为止,只有很有限的设备和方法用于直接测定皮肤光泽度,主要为皮肤光泽度测量计(如Skin-Glossymeter GL200)和通过镜面与漫反射强度计算光泽度值的图像处理方法(如SAMBA FACE)。

表1 影响光泽度的非详尽因素和对应测试技术

测试方法	指标	仪器
人体功效	微循环	毛细血管镜、激光多普勒
	黑色素	皮肤黑色测试仪、皮肤图像分析系统
	皮肤颜色	色度计
	皮肤表面形态	轮廓仪、条纹投影仪
	含水量	皮肤角质层水分测试仪
	弹性	皮肤弹性测试仪
感官评估	色度 (color)	
	亮度 (Luminosity)	
	明度 (Brightness)	
	透明度 (Transparency)	

Skin-Glossymeter GL200不仅能测皮肤镜面反射光,也能测漫反射光。探头顶端LED产生一束平行白光,通过平面镜以60°角反射向皮肤表面。其中,一部分光被直接反射后射向一个接收传感器,另一部分光被皮肤散射后被一个位于皮肤垂直方向上的传感器接收。SAMBA器件利用偏振差成像,测量整个感兴趣区域内每个像素的偏振状态,然后根据镜面和漫反射分量的差计算光泽度的平均值。图像很容易受环境亮度干扰,低光泽度条件下该方法对皮肤光泽度特征的敏感性低于高光泽度条件下的敏感性。Varghese B等^[3]发明了一种用于在低光泽状态下测量光泽度提高灵敏度的光学方法。与皮肤光泽度仪(C&K Skin gloss meter)的点测量相比,更好地与视觉感知得出的光泽度相关。焦志鑫等^[21]基于Retinex图像增强算法建立皮肤光泽度评价方法,对196名志愿者进行试验,将读入的人脸皮肤图像转换成反射图像,通过一系列计算与分析得出的结果表明,反射图像像素均值法的评价效果理想。

光泽度测试方法在其他领域如高分子材料等的研究相对较多,但是目前对人体肤质的光泽度评价方法仍有限。现阶段,日化领域研发者较多地应用传统的客观评价手段如Skin-Glossymeter GL200来测试皮肤表面的光泽度,进而评价产品的功效,但测试结果只能反映探头所覆盖区域的局部皮肤特征,且测试结果易受到探头挤压的影响,因此结果的有效性、稳定性都有一定的局限性。另外,也有的通过志愿者或评价员肉眼观察

对光泽度进行半定量的主观评价,但是主观评价常常受到评价者经验、情感等多方面主观因素的影响,难以得到稳定的结果,且不同评价者的评价结果也常常由于评价尺度不同而很难做到相互比较。总的来讲,通过客观手段获得的结果相对稳定,但能否与主观判断有很好的相关性是衡量客观评价方法有效性的重要手段,传统测试方法与图像分析方法的结合能更好地反映皮肤光泽度差异并评价产品的改善功效。

4 总结

光泽度是显示皮肤健康程度的重要指标。增强皮肤光泽度可从增强增强镜面反射和漫反射两方面考虑。为了增加皮肤的镜面反射光,最有效的方法是使角质层细胞表面平滑化。而提高角质层含水量,减少黑色素含量,促进微循环,减少羰基化,促进胶原纤维和弹性纤维生成等,则能有效增强漫反射。目前国内外对皮肤光泽度的研究较少且不深入。随着国内消费者对提亮需求的增长,深入研究皮肤光泽度显得十分必要。目前皮肤光泽度的概念仍不清晰,影响因素研究不全面,且各因素相应的贡献度还难以确定。并且直接测试皮肤光泽度的方法灵敏度较低,受环境影响大,无法全面反应感知到的光泽度。通过计算机模型模拟可能是一种行之有效的方法。

参考文献

[1] 吴健.粗糙表面感知光泽度的生成式模型[D].青岛:中国海洋大学,2015.

[2] Petitjean A,Sainthillier J,S Mac-Mary,et al.Skin radiance:how to quantify?Validation of an optical method[J].Skin Research and Technology,2007,13(1):2-8.

[3] Varghese B,Ezerskaia A,Ras A,et al.High sensitivity optical method for objective assessment of the gloss of human skin[C]//Photonics in Dermatology and Plastic Surgery 2018.2018.

[4] Mac-Mary S,Jeudy A,Sainthillier J M,et al.Skin radiance measurement[M].2014.

[5] 陈岩.动态皮肤光学性质的研究[D].天津:天津大学,2010.

[6] 徐舒畅.基于色素分离的皮肤图像处理与分析[D].杭州:浙江大学,2015.

[7] Won K Y,Mendoza M K,Saito Y,等.随机对照试验评估化

妆品配方对于改善面部皮肤色素过度沉着和光泽度的临床功效[C]//中国香料香精化妆品工业协会.第九届中国化妆品学术研讨会论文集(上).2012:113-116.

[8] 马雪洁.基于多光谱成像的在体组织检测方法研究[D].天津:天津大学,2019.

[9] 龚玮,谢树森.皮肤的光学模型和光学性质[J].中国激光医学杂志,2010,19(2):114-118.

[10] 李忠明,刘晓花.皮肤组织光学参数的变化对漫反射率、吸收比和光能流率的影响[J].咸宁学院学报,2010,30(12):1-5.

[11] 肖郑颖.光学特性参数对生物组织光分布的影响[J].渭南师范学院学报,2017,32(16):14-19.

[12] Masuda Y,Yagi E,Oguri M,et al.Development of a quantitative method for evaluation of skin radiance and its relationship with skin surface topography[J].Journal of Society of Cosmetic Chemists of Japan,2017,51(3):211-218.

[13] Nishimuta K,Igarashi T.Color and luminance affect perceptual transparency of human skin [J].Skin,2013.

[14] Masuda Y,Kunizawa N,Takahashi M.Methodology for evaluation of skin transparency and the efficacy of an essence that can improve skin transparency[J].Journal of Society of Cosmetic Chemists of Japan,2005.

[15] Nakamura R,Itai E,Uehara S,et al.Development of mathematical model of skin translucency[J].J Soc Cosmet Chem Jpn,2020,54(4):315-322.

[16] Ichiro I,Tomohiro K,Tetsuji H.Decrease in the skin transparency induced by protein carbonylation in the stratum corneum[J].Journal of Society of Cosmetic Chemists of Japan,2008,42(1):16-21.

[17] 舒均中,练英铎,欧婷婷,等.化妆品保湿和皮肤光泽度间的关系初探[J].广东化工,2020,47(14):42-43,49.

[18] Ros Joaquim.Protein carbonylation:principles,analysis,and biological implications[J].Spectroscopy Mass Spectrometry,2017:340-383.

[19] He YF,Zhu J,Li L,et al.Research on the relationship between the skin biophysical parameters versus wrinkles of 36-49 years old beijing female[J].Asian Journal of Beauty and Cosmetology,2018,16(1):93-110.

[20] 杜克斯,李泽巧,张宝江,等.面部皮肤衰老的外观变化及形成因素[J].日用化学工业,2022,52(2):199-206.

[21] 焦志鑫,王瑜,王小艺,等.基于Retinex图像增强算法的面部皮肤光泽度评价研究[J].日用化学工业,2015,45(8):443-446.