

光电术后防晒产品的配方设计

张雨彤, 马加翼, 吴梦, 胡秀英, 王晓东, 郑中博^{*}
(上海优斐斯生物科技有限公司, 优斐斯研究院, 上海, 201403)
DOI:10.61369/CDCST.2025030011

摘 要: 光电术后皮肤因光电治疗的热效应导致屏障功能受损, 表现为经皮水分散失增加、炎症性色素沉着风险升高及敏感性增强, 而术后紫外线暴露易引发新生皮肤光老化、红斑加重及肤色加深, 因此需加强防晒护理。光电术后防晒应满足广谱防护、安全温和、肤感轻薄的特点, 避免高指数配方的致敏风险; 优先采用低渗透、低刺激的防晒成分, 配方精简高效, 同时复配舒缓抗炎及美白成分, 协同修复皮肤屏障, 以降低光电术后的光损伤风险。

关 键 词: 光电术后护理; 防晒; 医美; 化学防晒剂; 皮肤屏障修复

第一作者简介: 张雨彤, 硕士, 上海优斐斯生物科技有限公司基础研究工程师, 主要研究方向为化妆品创新技术和功效原料的基础研究。E-mail: zhang.yt@uface-china.com。

通讯作者简介: 郑中博, 博士, 上海优斐斯生物科技有限公司科研总监, 主要研究方向为功效护肤品的配方开发。E-mail: zheng.zb@uface-china.com。



张雨彤



郑中博

在大众审美观念迭代升级的当下, 皮肤再生修复需求持续增长。光电美容作为医疗美容领域的核心分支, 依托激光、射频、强脉冲光等技术的创新, 实现从传统手术向非侵入、高效、微创、便捷方向的转型, 在改善皮肤衰老、疤痕修复、痤疮治疗及色素性疾病等领域脱颖而出, 成为医美行业的热门选择^[1]。然而, 该技术在治疗过程中产生的热效应, 会对皮肤屏障造成短暂性破坏, 引发局部红斑、热损伤及光敏性增强等不良反应^[2]。在此期间, 紫外线暴露极易诱发新生皮肤光老化和炎症性色素沉着等并发症, 使用防晒霜是降低风险的有效手段。

目前, 市售防晒霜为追求高防晒指数, 普遍采用物理防晒剂与化学防晒剂复配体系, 这不仅导致产品质地厚重, 还会给术后敏感皮肤带来额外负担, 且常用的小分子化学防晒剂, 如4-甲基苄亚基樟脑、甲氧基肉桂酸乙基己酯等, 其安全性存在一定争议。近年来, 大分子化学防晒剂因安全性优势逐渐应用在敏感肌防晒产品中, 但其防护范围主要集中于UVB波段, 在UVA防护效能上存在局限, 难以满足广谱防晒需求。因此, 针对光电术后皮肤的特殊需求, 开发安全、温和且广谱有效的防晒产品, 科学设计防晒剂配方, 对促进皮肤修复、提升治疗效果至关重要。

本研究聚焦光电术后敏感肌肤, 以精简配方为核心理念, 采用三种化学防晒剂与传明酸复配, 在实现全波段高效防晒的同时, 兼具美白、舒缓双重功效, 最大限度减轻术后肌肤负担, 为光电术后护理提供安全高效的防晒解决方案。

1. 光电术后的皮肤特点

1.1 光电治疗后的皮肤损伤

光电技术基于光热作用与电热作用, 通过对皮肤表皮、真皮组织的靶向作用实现治疗目的, 不可避免地对皮肤造成不同程度的损伤。

根据对皮肤的损伤程度差异, 光电美容技术可分为有创和无创两类。有创治疗分为剥脱性激光和非剥脱性激光, 剥脱性激光如CO₂激光器、Er:YAG激光器及点阵激光等, 治疗后皮肤经皮水分丢失即刻升高4~5倍, 术后24 h皮肤pH值显著增加^[3], 在7.5 J/cm²辐照4小时后, 皮肤表面出现暂时性红斑、水肿、损伤等症状^[3], 还可能引发持久性色素改变、瘢痕形成或创面感染等并发症^[4]; 非剥脱性激光如射频、皮秒激光、红宝石激光等, 治疗后的皮肤经皮水分丢失TEWL值比例约为25%^[5], 通常会出现持续24~48 h的红斑和水肿现象, 皮肤组织受损程度相对较轻, 皮肤屏障完整性并未受到明显破坏^[6]; 无创治疗主要包括LED光疗和弱激光治疗, 侵入性较低, 皮肤受损程度与激光能量相关, 如在40 J/cm²的近红外光照射后, 皮肤在4 h出现中度炎症浸润, 而在60 J/cm²照射时, 表皮出现明显受损^[7]。

1.2 光电术后皮肤结构变化

1.2.1 经皮水分散失

当皮肤组织吸收激光能量后, 光能转化为热能产生光热效应, 会使皮肤遭受热损伤。皮肤角质层细胞间脂质合成受到抑制, 细胞间黏附力下降, 致使皮肤“砖墙结



构”遭到破坏，皮肤经皮水分散失显著升高，出现红斑、干燥、脱屑等暂时性不良反应^[2]。角质层内的角蛋白与酶蛋白发生变性，干扰正常酶促反应进程，抑制保湿因子合成，脂质代谢紊乱，进而破坏皮肤屏障功能，导致色素沉着风险增加、感染几率上升^[8]。

1.2.2 炎症性色素沉着

光电治疗后，皮肤进入急性损伤阶段，激活炎症反应，过敏原易感性以及血管和神经反应性增加，皮肤出现疼痛、瘙痒、红肿等不适症状。当皮肤屏障功能遭到破坏，外部抗原与免疫细胞相互作用，表皮对神经末梢的保护能力显著下降，感觉神经传入信号增多，皮肤对外界刺激变得更加敏感，进而诱发或加剧免疫炎症反应^[9]。激光美容术后，皮肤处于高度敏感状态，对紫外线耐受性降低，极易引发光敏反应。这种光敏反应不仅会加重局部炎症，还可能导致皮损修复后出现色素沉着。同时，中国人肤色较白种人更深，黑素细胞活性相对较高，在炎症刺激下更易出现炎症后色素沉着^[10]。

1.2.3 皮肤屏障受损

点阵激光中产生的热效应，会对皮肤基底层造成损伤，在基底层裂隙会短暂出现含有黑色素的微小表皮坏死碎屑，皮肤表面呈现古铜色红斑，并伴随水肿、干燥、脱屑等一系列皮肤屏障功能受损的典型症状^[8]。皮肤屏障由基底层细胞经持续分化、向上迁移演变而来。若基底层细胞受损，会直接干扰皮肤屏障的修复进程。当损伤程度超出基底层细胞的自我修复能力时，机体启动异常修复机制，促使瘢痕组织形成^[9]。射频技术利用电热作用造成真皮层热损伤，在热量传导过程中，胶原蛋白发生热变性，引发皮肤收缩，若温度过高或作用时间过长，进一步造成不可逆损伤，导致皮肤组织变性甚至坏死，部分皮肤表面还会形成浅表且宽阔的“火山口”状微通道^[2]，皮肤启动组织损伤修复机制。

2. 光电术后防晒标准

2.1 术后防晒指数

激光术后皮肤处于高敏感状态，紫外线（UV）照射易诱发光刺激、光敏性、光毒性及炎症反应等，导致色素沉着、皮损复发风险增加，延长恢复周期。因此，光电术后防晒的重点在于皮损恢复期。紫外线按波长分为长波 UVA（320~400 nm）、中波 UVB（280~320 nm）和短波 UVC

（100~280 nm），其中 UVC 受臭氧层阻隔无法抵达地面，UVA 主要引发皮肤晒黑和光老化，UVB 则导致皮肤晒红晒伤。在选择防晒产品时，可依据产品标识的 SPF 和 PA 指数，筛选对 UVA、UVB 具备广谱防护效果且防晒指数适配的防晒剂^[11,12]。SPF 值表征产品抵御 UVB 和预防日晒红斑的能力，数值越高，其防护效果越显著；PA 系数的“+”表示对 UVA 的防护强度，“+”数量越多，防晒黑能力越强。然而，过高的 SPF 值和 PA 系数，其防晒成分含量更高，肤感厚重，吸收性和延展性差，易发生过敏性皮炎，为术后皮肤带来风险和负担^[13]。

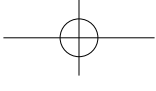
对于 SPF 值及 PA 值的选择，应根据个人具体情况及不同场景而选择正确的防晒产品：（1）日常防晒，室内居家活动，选择 SPF 10~25、PA+ 或 PA++ 的防晒产品，既满足基础防护需求，又轻薄透气；（2）术后护理，户外时间有限，选择 SPF 30~35、PA++ 的防晒产品，在温和防护的同时，避免对皮肤造成额外负担；（3）高强度紫外活动，如雪山、海滩、高原等环境或长时间户外活动，选择 SPF40 以上、PA+++ 或 PA++++ 的高倍数防晒产品，若涉及出汗较多或水下工作场景，需优先选择具备防水抗汗功能的防晒产品^[14]。

综合防护效果、肤感和安全性，针对光电术后患者，建议选用 SPF30 或 SPF30+、PA+++ 的防晒产品^[10]，既能满足日常防护需求，又能最大程度降低对皮肤的刺激，有利于术后皮肤的恢复^[15]。

2.2 术后防晒剂的选择

防晒剂分为无机防晒剂和有机防晒剂，二者对紫外光的作用机制有所不同。

无机防晒剂也称物理 UV 屏蔽剂，以二氧化钛（TiO₂）、氧化锌（ZnO）为代表，通过反射和散射紫外线发挥防晒作用^[15]。当前防晒产品多采用纳米级 TiO₂ 和 ZnO，在有效屏蔽紫外线的同时，改善涂抹后泛白等问题，但其颗粒直径在 100 nm 左右，安全性仍存在争议^[16]。欧盟消费者安全科学委员会（Scientific Committee on Consumer Safety, SCCS）规定纳米级 TiO₂ 和 ZnO 作为防晒剂的最大添加量为 25%，且不可用于喷雾制剂，以避免消费者经呼吸系统吸入纳米颗粒的风险^[17]。此外，纳米 TiO₂ 和 ZnO 在吸收紫外线时会产生空穴-电子对，与表面吸附的空气反应生成活性氧（ROS）分子，可能引起皮肤老化。浓度为 5~10 μg/mL 的纳米 ZnO 会对人表皮细胞产生毒性，而其在受损皮肤中的吸收情况，以及通过呼吸和消



化系统带来的潜在危害，仍需要更全面的评估^[18,19]。

相比之下，有机防晒剂质地轻薄、透明感和肤感更好，适合光电术后人群日常使用。有机防晒剂又称化学UV吸收剂，通过芳香基团选择性吸收不同波段的紫外线而发挥防晒作用，但部分有机防晒剂易透皮吸收，可能会导致接触致敏和光致敏作用^[15]。如甲氧基肉桂酸乙基己酯（OMC）、4-甲基苄亚基樟脑（4-MBC）能够促进pS2基因的表达，与雌激素受体结合，引发雌激素效应^[20]；对氨基苯甲酸（PABA）及其衍生物（如辛基二甲基-PABA）可引发光过敏，产生活性氧和DNA胸腺嘧啶二聚体，进而阻止DNA聚合酶进行细胞复制，诱导细胞凋亡或癌变^[21]。根据500道尔顿原则，当物质分子量超过500道尔顿时，正常人体皮肤对分子的吸收效率会迅速下降，而上述防晒剂均属于小分子物质，更易渗透进皮肤发挥作用^[22]。

因此，在开发医美术后防晒产品时，应优先选择安全性高、成分精简、渗透能力弱且肤感舒适的防晒剂，确保产品既能实现UVA、UVB全波段高效防护，又能最大程度降低对术后脆弱皮肤的刺激，减小皮肤额外负担。

3. 光电术后防晒产品的创新设计开发

3.1 防晒剂的选择与配方设计

防晒霜配方表如图1所示。

针对UVB防护，二乙基己基丁酰胺基三嗪酮（Diethylhexyl butamido triazone, DHBT）和双-乙基己氧苯酚甲氧苯基三嗪（Bis-ethylhexyloxyphenol methoxyphenyl triazine, BEMT），二者均属于高安全的化学防晒剂，其分子量均大于500道尔顿，在皮肤渗透性较低。研究表明，以欧盟推荐使用剂量2.0 mg/cm²涂抹含BEMT的防晒霜于离体猪皮后，经体外Franz扩散池法检测，BEMT主要滞留于角质层，透皮吸收能力微弱^[23]。DHBT在欧盟的最高使用剂量为10%，被认为是光稳定性最好的UVB防护剂之一，根据SCCS（1998）的意见，DHBT具有极高的安全性，经皮吸收率低，不会产生皮肤接触刺激、光刺激、光敏性、光诱变性和光毒性等不良反应^[24]。

相较于UVB防护剂，针对UVA波段的化学防晒剂种类相对有限，以丁基甲氧基二苯甲酰甲烷（阿伏苯宗）和二乙氨基苯甲酰基苯甲酸己酯（Diethylamino hydroxybenzoyl hexyl benzoate, DHHB）为典型代表。阿

伏苯宗虽具备宽广的UVA吸收光谱，但存在光降解风险，其降解产生的新化合物，可能引发皮肤光过敏和光毒性反应；而分子量397.515道尔顿的DHHB，虽未达500道尔顿的低渗透标准，却具有较高的安全性和兼容性，且在欧盟中最高使用剂量为10%^[25]。通过离体猪皮胶带剥离法实验证实，DHHB的最大渗透深度不超过1.7 μm，考虑到猪皮渗透性高于人体皮肤，表明其在正常人体皮肤中不会发生有效透皮吸收^[26]。

护肤品的安全性和功效性一直以来是医美行业科研工作者研究的重点^[27]。此外，搭配独家专利成分“传粒亮TXATidePro™”（传明酸、谷胱甘肽、精氨酸/赖氨酸多肽），能够有效维持线粒体功能及自噬稳态，降低炎症反应并减少黑色素合成，改善皮肤暗沉、皱纹及炎症后色素沉着等皮肤状态，具有美白淡斑、舒缓抗炎的作用^[28]。

成分	水、丁基辛醇水杨酸酯、C12-15 醇苯甲酸酯、碳酸二辛酯、丁二醇、二乙基己基丁酰胺基三嗪酮、凝血酸、二乙氧基苯甲酰基苯甲酸己酯、双-乙基己氧苯酚甲氧苯基三嗪、聚二甲基硅氧烷、C14-22 醇、1,2-戊二醇、鲸蜡醇磷酸酯钾、对羟基苯乙醇、C12-20 烷基葡萄糖苷、丙烯酰甲基牛磺酸铵/VP 共聚物、生育酚（维生素E）、卡波姆、精氨酸、尿囊素、硬脂醇甘草亭酸酯
其他微量成分	谷胱甘肽、精氨酸/赖氨酸多肽、乙基己基甘油、EDTA 二钠、1,2-己二醇

图1 防晒霜配方表

3.2 防晒效果评价

如表1和表2所示，根据《化妆品安全技术规范》（2015版）防晒化妆品防晒指数（SPF值）和长波紫外线防护指数（PFA值）的测定方法，按标准筛选合格的受试者10人，测定该产品的SPF值为32，PFA值为8（即PA+++）。

表1 对照品及样品 SPF 值测定结果

受试者编号	性别	年龄	皮肤类型	对照品 SPF 值	样品 SPF 值
1	男	28	II	16.1	33.6
2	女	53	II	16.1	30.0
3	女	52	II	16.1	33.6
4	女	44	II	16.1	33.0
5	女	39	II	16.1	33.0
6	女	50	II	16.1	33.0
7	女	31	II	16.1	33.0
8	女	44	II	16.1	33.0
9	男	48	II	16.1	33.0
10	女	53	II	16.1	33.0
平均值	/	44.2	/	16.1	32.8
标准差	/	9.0	/	0.0	1.0
标准误	/	/	/	0.0	0.3
95%CI	/	/	/	[16.1, 16.1]	[32.1, 33.5]



表2 对照品及样品 PFA 值测定结果

受试者编号	性别	年龄	皮肤类型	对照品 SPF 值	样品 SPF 值
1	女	27	Ⅲ	4.4	8.0
2	女	45	Ⅲ	4.4	10.0
3	女	59	Ⅲ	4.4	8.0
4	男	37	Ⅲ	4.4	8.0
5	女	28	Ⅲ	4.4	8.0
6	男	30	Ⅲ	4.4	8.0
7	女	33	Ⅲ	4.4	10.0
8	男	36	Ⅲ	4.4	8.0
9	男	32	Ⅲ	4.4	8.0
10	女	28	Ⅲ	4.4	8.0
平均值	/	35.5	/	4.4	8.4
标准差	/	9.9	/	0.0	0.8
标准误	/	/	/	0.0	0.3
95%CI	/	/	/	[4.4, 4.4]	[7.7, 9.1]

3.3 安全性测试

皮肤刺激性、皮肤变态反应以及皮肤光毒性试验涉及实验动物使用，所有操作严格遵循动物伦理原则，最大程度减少动物痛苦并保障福利。

3.3.1 皮肤刺激性试验

根据《化妆品安全技术规范》（2015年版）进行多次皮肤刺激性试验。筛选4只体重2.3~2.4 kg的普通级新西兰兔（桐乡市银海牧业专业合作社，动物生产许可证号 SCXK（浙）2023-0002）为试验对象，均在温度19.1~25.9℃，相对湿度41.0%~63.4%的环境中常规饲养。试验前适应性喂养3 d，试验前24 h将兔背部脊柱两侧被毛剔除，左右各约3 cm×3 cm，取0.5 mL样品涂抹在左侧皮肤上，右侧皮肤作为对照，每天涂抹1次，连续涂抹14 d，并对皮肤刺激反应评分，结果如表3所示，该产品对皮肤无刺激性。

3.3.2 皮肤变态反应试验

根据《化妆品安全技术规范》（2015年版）进行皮肤变态反应试验。筛选20只体重244.9~287.1g的普通级Hartley豚鼠（桐乡市银海牧业专业合作社，动物生产许可证号 SCXK（浙）2022-0006）为试验对象，雌雄各半，均在温度19.2~27.1℃，相对湿度42.0%~67.5%的环境中常规饲养。试验前适应性喂养3 d，试验前24 h将豚鼠背部左侧去毛，范围约4 cm²。诱导接触：取0.2 mL样品于第0 d、7 d和14 d涂于实验动物去毛区皮肤上，封闭固定6 h。激发接触：在末次诱导后14 d将0.2 mL样品涂于实验动物右侧去毛区，封闭固定6 h，于激发接触后24 h和48 h观察皮肤变态反应，对皮肤反应评分和致敏强度分级。阴性对照组用蒸馏水处理，阳性对照组用1% 1-氯-2, 4-二硝基苯

处理。

表3 皮肤刺激性试验结果

涂抹 天数	动物数 量/只	皮肤刺激性反应积分					
		样品			对照		
		红斑	水肿	总分	红斑	水肿	总分
1	4	0	0	0	0	0	0
2	4	3	0	3	0	0	0
3	4	3	0	3	0	0	0
4	4	3	0	3	0	0	0
5	4	3	0	3	0	0	0
6	4	3	0	3	0	0	0
7	4	3	0	3	0	0	0
8	4	3	0	3	0	0	0
9	4	2	0	2	0	0	0
10	4	2	0	2	0	0	0
11	4	0	0	0	0	0	0
4	4	0	0	0	0	0	0
13	4	0	0	0	0	0	0
14	4	0	0	0	0	0	0
14天每只动物 积分均值		6.25	0.00	6.25	0.00	0.00	0.00
每天每只动物 积分均值		0.45	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00

试验结果如表4所示，该产品未见皮肤变态反应。

表4 皮肤变态反应试验结果（BT法）

组别	动物 数量/ 只	观察 时间	皮肤反应强度										积分 ≥ 2 动物数量	致敏 率 /%
			红斑					水肿						
			0	1	2	3	4	0	1	2	3			
阴性 对照	10	24 h	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	
		48 h	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	
样品	20	24 h	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	
		48 h	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	
阳性 对照	20	24 h	0	12	8	0	0	11	9	0	0	12	60	
		48 h	0	13	7	0	0	11	9	0	0	11	55	

3.3.3 皮肤光毒性试验

根据《化妆品安全技术规范》（2015年版）进行皮肤光毒性试验。筛选6只体重在248.5~285.1 g的豚鼠普通级Hartley豚鼠（桐乡市银海牧业专业合作社，动物生产许可证号 SCXK（浙）2022-0006）为试验对象，雌雄各半，均在温度20.6~24.5℃，相对湿度45.3%~65.1%的环境中常规饲养。试验前适应性喂养3 d，试验前24 h将豚鼠背部去毛并选四块完好皮肤，每块去毛面积约为2 cm×2 cm，左侧为1、3区，右侧为2、4区。在1、2区涂敷0.2 mL样品，30 min后，1、3区用铝覆盖，胶带固定，右侧用UVA进行照射，结束后，分别于1、24、48和72 h观察皮肤反应。阳性对照组按同样方法处理。

试验结果如表5所示，该产品未见皮肤光毒性。



表5 皮肤光毒性试验结果

组别	动物性别	体重/g	皮肤反应积分															
			1 h				24 h				48 h				72 h			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
对照	1 雄	256.8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	2 雄	269.0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	3 雄	253.5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4 雌	248.2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	5 雌	263.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 雌	252.0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0
样品	1 雄	254.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 雄	248.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3 雄	285.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4 雌	266.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 雌	267.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 雌	261.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.3 人体斑贴试验

根据《化妆品安全技术规范》（2015版）的试验方法，招募30名受试者进行人体斑贴试验，观察不同时间的皮肤反应。选用合格的斑试器材，以封闭性斑贴试验方法，将0.020 ~0.025 g样品置于斑试器内，外用低致敏胶带贴敷于受试者背部，24 h后去除样品，分别于去除后0.5、24、48 h观察皮肤反应，按照规范中的皮肤反应分级标准记录结果。

人体皮肤斑贴试验结果如表6所示，30人中0例出现皮肤不良反应，说明该产品安全无刺激。

表6 人体斑贴试验结果

组别	受试人数	观察时间	斑贴试验不同皮肤反应人数				
			0	1	2	3	4
样品	30	0.5 h	30	0	0	0	0
		24 h	30	0	0	0	0
		48 h	30	0	0	0	0
对照品	30	0.5 h	30	0	0	0	0
		24 h	30	0	0	0	0
		48 h	30	0	0	0	0

3.4 功效性评价

根据《化妆品安全技术规范》（2015年版）的化妆品祛斑美白功效测试方法，招募并筛选合格受试者30人，选择皮肤肤色ITA° 值在20° ~ 41°为测试部位，有效被氙灯模拟日光照射黑化后连续涂抹产品四周。试验时通过记录阴性对照与使用测试样品前后各时间点皮肤色度（ITA° ）、黑色素值（MI）来评定美白效果。

表7结果显示，该产品在涂抹前后ITA° 差值和MI差值与阴性对照相比有显著改善（ $P<0.05$ ），说明具有祛斑美白功效。

表7 面部皮肤色度（ITA° 和MI值）结果（均值 ± 标准差）

		0 d	7d	14 d	21 d	28 d
ITA°	样品	29.24 ± 4.18	30.08 ± 4.17	30.87 ± 4.18	31.72 ± 4.16	32.71 ± 4.11
	阴性对照	28.50 ± 4.02	29.21 ± 4.18	30.00 ± 4.21	30.75 ± 4.24	31.60 ± 4.26
	阳性对照	28.74 ± 4.34	29.56 ± 4.46	30.43 ± 4.43	31.27 ± 4.46	32.39 ± 4.47
MI	样品	212.50 ± 31.97	204.40 ± 31.74	195.93 ± 31.52	188.20 ± 31.65	177.58 ± 31.26
	阴性对照	218.43 ± 30.23	211.12 ± 31.46	203.38 ± 31.32	196.29 ± 31.86	186.96 ± 32.80
	阳性对照	215.83 ± 33.93	207.76 ± 34.37	199.28 ± 34.51	190.95 ± 34.16	179.62 ± 34.08

综上所述，本产品优势显著，具有SPF32、PA+++的防晒效果和美白祛斑双重功效，配方温和无刺激，肤感轻盈，无需卸妆即可清洗，满足光电术后精简护肤的需求，在防晒的同时实现修护皮肤屏障，为敏感肌提供多维度保障。

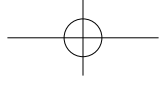
4. 总结与展望

光电美容凭借激光、射频等技术在改善皮肤问题方面成效显著，但治疗后的皮肤屏障功能受损，出现经皮水分散失增多、炎症性色素沉着、敏感脆弱等症状。此时，紫外线暴露易引发多种并发症，防晒对于光电术后皮肤护理至关重要。术后防晒产品需综合考量防护力、肤感和安全性，推荐选用SPF30或SPF30+、PA+++的防晒产品，并采用安全性高、成分精简、渗透低且质地轻盈的防晒剂。

随着医美行业发展与人们对皮肤护理要求的提升，未来术后防晒领域有诸多探索方向。通过深入研究不同类型光电治疗后的皮肤差异，以开发针对性和多样化的防晒产品，同时持续关注新型防晒成分，提升产品综合性能，从而满足不断增长的市场需求。

参考文献

- [1]Ximeng Jia, Yongqiang Feng. Energy-Based Skin Rejuvenation: A Review of Mechanisms and Thermal Effects [J]. Journal of Cosmetic Dermatology, 2025, 24: e16657.
- [2]董继英, 韩淑琪, 鲁楠等. 光电损伤后的皮肤特点及其护理 [J]. 组织工程与重建外科, 2024, 20(2): 265-270.
- [3]AN T L, WANG P W, LEE W R, et al. Systematic evaluations of skin damage irradiated by an erbium: YAG laser: Histopathologic analysis,



proteomic profiles, and cellular response [J]. *Journal of Dermatological Science*, 2010, 58(1): 8–18.

[4]王莹, 刘永斌, 徐天华, 等. 多功能激光光电平台对于 CO₂点阵激光治疗面部凹陷性瘢痕术后修复的疗效观察 [J]. *中国医疗美容*, 2021, 11(3):51–56.

[5]LSTER T S, LI M K. Dermatologic laser side effects and complications: Prevention and management [J]. *American Journal of Clinical Dermatology*, 2020, 21(5): 711–723.

[6]贾彦敏, 向芳, 康晓静. 不同光电治疗措施对皮肤屏障的损伤及修复 [J]. *中国医学文摘 (皮肤科学)*, 2017, 34(4):457–461.

[7]ANG Y, LIU B, LIU L, et al. The 800-nm diode laser irradiation induces skin collagen synthesis by stimulating TGF- β /Smad signaling pathway [J]. *Lasers in Medical Science*, 2011, 26(6): 837–843.

[8]梁虹, 戴杏. 激光治疗与皮肤屏障 [J]. *皮肤科学通报*, 2017, 34(4):451–456.

[9]车颀, 韩蕙澜, 琚瑶, 等. 浅谈激光美容术后皮肤护理产品的开发 [J]. *中国化妆品*, 2020(06):115–119.

[10]杨素莲, 张云青, 陈海燕, 等. 皮肤激光美容术后患者的防晒护理 [J]. *中国美容医学*, 2016, 25(8):99–102.

[11]李咏, 李利, 蒋献, 等. 皮肤激光美容术后患者的防晒护理 [J]. *中华护理杂志*, 2008, 43(6):575–577.

[12]柳瑞英. 皮肤激光美容术后患者的防晒护理 [J]. *世界最新医学信息文摘*, 2019, 19(49):297–299.

[13]齐显龙, 高剑, 刘岚, 等. 护肤品咨询系列讲座 (五)——防晒护肤品介绍及建议 [J]. *中国美容医学*, 2009, 18(4):553–555.

[14]李利, 刘玮. 皮肤防晒专家共识 (2017) [J]. *中华皮肤科杂志*, 2017, 50(5):316–321.

[15]莫瑞玲, 王鲁梅, 黎焕仪. 护理干预在激光美容术后患者防晒中的应用 [J]. *中国实用医药*, 2016, 11(35):160–163.

[16]周宏飞, 黄炯, 寿露, 等. 防晒剂的研究进展 [J]. *浙江师范大学学报 (自然科学版)*, 2017, 40(2):206–214.

[17]张玉银, 丛琳, 李雪竹. 浅析无机防晒剂及其防晒机理与安全

问题 [J]. *当代化工研究*, 2020, 8:35–36.

[18]巫明月, 栗克建, 马毅龙, 等. 纳米 TiO₂、ZnO 在化妆品防晒领域中的应用 [J]. *广东化工*, 2021, 48(5):69–75.

[19]Burnett ME, Wang SQ. Current sunscreen controversies: a critical review [J]. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2011, 27(2): 58–67.

[20]Heneweer M, Muusse M, van den Berg M, et al. Additive estrogenic effects of mixtures of frequently used UV filters on pS2-gene transcription in MCF-7 cells [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2005, 208(2): 170–177.

[21]Gilbert E, Pirot F, Bertholle V, et al. Commonly used UV filter toxicity on biological functions: review of last decade studies [J]. *International Journal of Cosmetic Science*, 2013, 35(3): 208–219.

[22]Bos JD, Meinardi MM. The 500 Dalton rule for the skin penetration of chemical compounds and drugs [J]. *Experimental Dermatology*, 2000, 9(3): 165–169.

[23]柳亚锋, 刘岱拯, 谢珍茗. 6种常用防晒剂的透皮吸收和安全评估 [J]. *日用化学工业*, 2021, 51(11):1088–1095.

[24]Nitulescu G, Lupuliasa D, Adam-Dima I, et al. Ultraviolet Filters for Cosmetic Applications [J]. *Cosmetics*, 2023, 10(4): 101.

[25]Tampucci S, Burgalassi S, Chetoni P, et al. Cutaneous Permeation and Penetration of Sunscreens: Formulation Strategies and In Vitro Methods [J]. *Cosmetics*, 2018, 5(1): 1–17.

[26]Haque T, Crowther JM, Lane ME, et al. Chemical ultraviolet absorbers topically applied in a skin barrier mimetic formulation remain in the outer stratum corneum of porcine skin [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2016, 510(1): 250–254.

[27]郑中博, 丛远华, 冯春波. 阿魏酸的增溶及其在油剂产品中的稳定性研究 [J]. *香料香精化妆品*, 2021, (04):55–58.

[28]王琪, 郑含含, 张肖, 等. 传明酸多肽组合物改善线粒体功能及炎性色沉的研究 [J]. *日用化学品科学*, 2024, 47(6):13–18.

Formulation of Sunscreen Products after Photoelectric Surgery

Zhang Yu-tong, Ma Jia-yi, Wu Meng, Hu Xiu-ying, Wang Xiao-dong, Zheng Zhong-bo*
(Shanghai Uface Biotechnology Co., Ltd., Shanghai, 201403)

Abstract : The barrier function of skin after photoelectricity surgery is damaged due to the thermal effect, characterized by increased transdermal water loss, higher risk of inflammatory pigmentation and increased sensitivity, and postoperative ultraviolet exposure is prone to cause new skin photoaging, erythema aggravation and deepening of skin color, so it is necessary to strengthen the care of sunscreen. Sunscreen after photoelectric surgery should satisfy the features of broad-spectrum protection, safety and mildness, and light skin feel, avoiding the risk of sensitization of high-index formulas; prioritize the use of low-penetration, less-irritating sunscreen ingredients, streamlined and highly effective formulas, and also compound soothing, anti-inflammatory and whitening ingredients to repair the skin barrier in order to reduce the risk of photo-damage after photovoltaic surgery.

Keywords : photoelectric aftercare; sun protection; medical Cosmetology; chemical sunscreens; skin barrier repair