

- nanocomposite gel: characterization and in vivo assessment[J]. Front Public Health, 2023, 11(3):1238961-1238973.
- [16]Zhang P, He L, Zhang J, et al. Preparation of novel berberine nano-colloids for improving wound healing of diabetic rats by acting Sirt1/NF- κ B pathway[J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2020,187(3):110647-110658.
- [17]Veith A P, Henderson K, Spencer A, et al. Therapeutic strategies for enhancing angiogenesis in wound healing[J]. Adv Drug Deliv Rev, 2019,146(1):97-125.
- [18]Beken B, Serttas R, Yazicioglu M, et al. Quercetin improves inflammation, oxidative stress, and impaired wound healing in atopic dermatitis model of human keratinocytes[J]. Pediatr Allergy Immunol Pulmonol, 2020,33(2):69-79.
- [19]Gilman K E, Limesand K H. The complex role of prostaglandin E2-EP receptor signaling in wound healing[J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2021,320(3):R287-R296.
- [20]杨春艳, 柳研, 李艳, 等. 复方芙蓉花叶提取物对烧伤后创面感染大鼠创面愈合的影响及其作用机制[J]. 中华医院感染学杂志, 2023,3(12):1783-1787.
- [21]吴熙, 陈高. 芍药苷对难愈性溃疡大鼠创面愈合及HIF-1 α /VEGF/VEGFR2信号通路的影响[J]. 河北医学, 2023,29(3):369-374.
- [22]Linawati L, Sitam S, Mulyawan W, et al. Effect of intermittent hypobaric hypoxia exposure on hif-1 α , vegf, and angiogenesis in the healing process of post-tooth extraction sockets in rats[J]. Eur J Dent, 2023,9(2):s43-s56.
- [23]Qayoom A, Aneesha V A, Anagha S, et al. Lecithin-based deferoxamine nanoparticles accelerated cutaneous wound healing in diabetic rats[J]. Eur J Pharmacol, 2019,858(3):172478-172489.

[收稿日期]2024-02-07

本文引用格式: 王玉珍, 霍洪亮, 张平安. 黄连素调节HIF-1 α /VEGF信号通路对烧伤大鼠创面愈合的影响[J]. 中国美容医学, 2025,34(10):17-22.

射频传导介质的评价指标及测试方法

何冰冰^{1,2,3}, 张梅², 马骁², 张宁涛², 郭振宇², 张榆锋^{1,3}

(1. 云南大学信息学院电子工程系 云南昆明 650091; 2. 云南贝泰妮生物科技集团股份有限公司 云南昆明 650091; 3. 云南省高校高原医学电子信息智能检测处理重点实验室 云南昆明 650091)

[摘要]目的: 阐明射频美容与射频传导介质的协同作用, 进一步完善射频美容的理论框架。方法: 提出以电导率、红外线阻隔率、含水量、黏度、可见光透过率5个评价指标来定量描述射频传导介质应用于射频美容治疗的技术要求, 并提出感官测试方法来分析传导介质应用于射频美容治疗的体感要求。结果: 基于5款市售产品的实验结果表明, 所提评价指标及感官测试方法实现了射频传导介质导电性、透光性、润滑性以及体感适用性的定量分析。结论: 所提评价指标及测试方法有助于提升射频美容功效, 能够为企业研发、消费者选购射频传导介质提供依据。

[关键词] 射频; 美容; 传导介质; 评价指标; 感官测试

[中图分类号]R622 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1008-6455(2025)10-0022-05

Evaluation Indicators and Testing Methods for Radio Frequency Conducting Media

HE Bingbing^{1,2,3}, ZHANG Mei², MA Xiao², ZHANG Ningtao², GUO Zhenyu², ZHANG Yufeng^{1,3}

(1. Department of Electronic Engineering, Information School, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China; 2. Yunnan Botanee Bio-technology Group Co. LTD., Kunming 650091, Yunnan, China; 3. University Key Lab of Electronic Information Processing of High Altitude Medicine, Yunnan Province, Kunming 650091, Yunnan, China)

Abstract: Objective To illustrate the synergy between the RF cosmetic and its conduction media and further improve the theoretical framework of the RF cosmetic. **Methods** The technical requirements of the conduction medium applied to RF cosmetic treatment are quantitatively described by five evaluation indexes: electrical conductivity, infrared blocking rate, water

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 62261057); 云南省基础研究专项(编号: 202301AU070187)

通信作者: 张榆锋, 云南大学信息学院电子工程系教授、博士生导师; 研究方向为数字信号处理、微弱信号检测、医学超声工程、光电医美技术研发等。

E-mail: zhangyf@ynu.edu.cn

content, viscosity, and visible light transmission rate in this paper. Furthermore, the sensory test is designed to analyze the physical requirements of the conductive medium applied to RF cosmetic treatment. **Results** The experimental results based on five commercially available products show that the proposed evaluation indexes and test methods achieve quantitative analysis of the conductivity, light transmission, lubricity and somatosensory applicability of RF conduction media. **Conclusion** The proposed evaluation indexes and sensory test can help improve the efficacy of RF cosmetology and provide a theoretical basis for enterprise research and development and consumer purchase of RF conductive media.

Keywords: radio frequency; cosmetic; conduction medium; evaluation index; sensory testing

射频美容以非侵入式的治疗方法使皮肤紧致，并发症和副作用少，恢复时间短，近年来被广泛应用于面部皮肤抗衰老，深受就医者喜爱^[1-2]。该技术使用高频电流作用真皮层组织产生局部热效应，电能转换为热能依照如下公式输出能量： $Energy(J) = I^2 \cdot z \cdot t$ 。其中I为电流，z为阻抗，t为时间。根据上式，射频能量与通过皮肤、皮下组织的电流及阻抗有关^[3]。通过容积加热原理，射频能量能够破坏真皮层的胶原蛋白结构，促使胶原纤维收缩，达到紧肤的效果^[4]。该技术作用机理明确，抗衰效果显著，市场反响良好。

根据射频美容的实际使用场景，此类技术的治疗过程需协同凝胶、精华等传导介质开展^[5-6]。射频传导介质的主要作用包括：①导电，辅助射频电流穿过高阻抗的皮肤屏障和表皮层，定向加热真皮层；②冷却，在表皮处迅速吸收来自真皮层的热量扩散，避免表皮烫伤；③润滑，辅助射频治疗头在面部滑动，避免摩擦造成的表皮机械损伤。此外，对于部分低功率的家用射频美容设备，也可搭配散热较低的传导介质实现皮下温度场的短时保温，提高治疗效率。

射频美容的广泛应用得益于其充分的科学研究，国内外已有众多研究者深入探索其安全性与有效性，开展技术创新，大量研究工作奠定了理论基础^[7-10]。然而，已有研究工作主要聚焦于射频技术的电学参数、电场分布、电热耦合效应、临床功效验证等，尚未有公开报道说明如何定量评价搭配射频技术使用的护肤耗材。为了阐明射频美容与传导介质的协同作用，完善射频美容的理论框架，本文提出了射频传导介质的评价指标及测试方法。

1 材料和方法

1.1 市售样品选择：为了体现本文所提评价指标及测试方法的普遍适用性，测试用射频传导介质样品的选择综合考虑了品牌国别、宣传功效、平台销量、网络热评等诸多因

素，共选取了5款产品，均为凝胶质地，信息见表1，实物照片见图1。

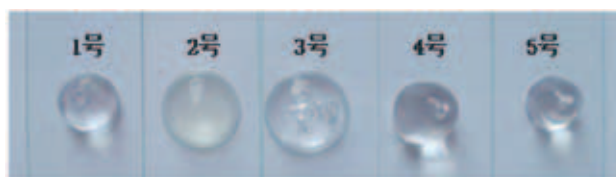


图1 市售样品实物

1.2 评价指标设计：射频美容技术的抗衰原理是利用射频电流或电场等电能作用于人体皮肤组织，穿过表皮在真皮层附近形成局部温度场，避免表皮烫伤的同时加热真皮胶原，刺激胶原新生达到紧致皮肤、减轻皱纹等效果^[11]。在射频美容治疗过程中，射频传导介质涂抹于面部皮肤表面，使治疗电极与面部皮肤充分接触，并基于传导介质的润滑作用来滑动治疗头以实现不同面部部位的治疗^[12]。因此，适宜的射频传导介质对射频美容技术的有效性、安全性均有促进作用。为了描述射频传导介质应用于射频美容治疗的技术要求，本文设计使用电导率、红外线阻隔率、含水量、黏度、可见光透过率5项评价指标以定量说明射频传导介质对射频美容有效性、安全性的影响。

1.2.1 电导率：使用电导率仪（美国梅特勒托利多公司，仪器型号：FE38-Standard，电极型号：LE703）测量传导介质的电导率。测量前，需使用标准液对电导率仪进行校准；然后，使用规格为100 ml的烧杯称取70 ml传导介质；将电极完全浸没于测试样品中，并保持电极悬浮于样品、未接触烧杯杯壁及杯底；读取电导率测量结果；最后，进行多次测量求平均值。

1.2.2 红外线阻隔率：使用光学透光率测量仪（深圳林上

表1 市售样品信息表

样品编号	品牌国别	宣称护肤功效	某平台月销量	是否专用
1	以色列	紧致、舒缓、补水	>1 000	射频专用传导介质
2	日本	补水、保湿	>10 000	射频专用传导介质
3	中国	补水、保湿、淡纹、紧致	>1 000	射频专用传导介质
4	中国	保湿	>1 000	网络热评的射频传导介质平价替代品
5	韩国	补水、保湿、舒缓、晒后修复	>30 000	网络热评的射频传导介质平价替代品

科技有限公司, 仪器型号: LS101) 测量传导介质的红外线阻隔率。因待测样品厚度对该指标的测量结果影响较大, 本文设计以玻璃片承载待测样品进行间接测量。如图2所示, 将一块盖玻片粘接于载玻片的边缘, 使用滴管取一滴待测样品置于盖玻片上, 再取一块盖玻片覆盖在待测样品上, 使样品厚度与载玻片厚度一致, 并确保待测区域无气泡干扰测量。最后, 将两片盖玻片承载的样品置于测试仪中, 测量红外线阻隔率, 并进行多次测量求均值。

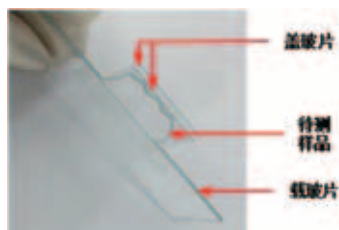


图2 借助玻璃片测量传导介质红外线阻隔率

1.2.3 含水量: 本研究使用智能快速水分仪(深圳莱希特科技有限公司, 仪器型号: LXT-800) 测量含水量。取适量样品平铺于水分仪称量盘中, 关闭装置对样品进行加热, 等待仪器显示测定完成后, 记录含水量测量结果, 并进行多次测量求平均值。

1.2.4 黏度: 使用旋转黏度计(美国博勒飞公司, 仪器型号: DV2T, 转子型号: 4号、5号) 测量射频传导介质黏度。使用烧杯称取适量待测样品置于仪器下方, 调节转子高度使转子能够完全浸没于样品中, 确保转子未接触容器底与容器壁后, 设置转速, 开始测量。记录测量结果, 并进行多次测量求平均值。多种样品的黏度对比测试, 应控制测量温度、转子型号等条件相同。

1.2.5 可见光透过率: 以可见光透过率作为评价指标来定量分析传导介质导光性。在1.2.2节所述的红外线阻隔率仪器测量方法可同步测试可见光透过率。

1.3 感官测试设计: 根据射频传导介质的产品特殊需求、实际使用场景、网络热评等, 感官测试设计了延展性、流动性、挥发性、吸收性、黏滞感、水润感六项体感描述指标。表2给出了每项体感指标的含义。对表1的5种市售样品进行感官测试, 共27名受试者参加, 其中女性18名、男性9名, 年龄为22~39岁。为了降低测试难度, 每项描述指标

的评分区间设置为[-3, +3], 正负分别表示受试者对传导介质的正面或负面的感官体验, 而1~3分表示该种感官体验的强烈程度, 体验越强、分值越高。测试前, 对受试者进行家用射频美容设备的使用培训, 介绍操作手法、使用时长及注意事项等。清洁面部后, 每位受试者配合同一台射频美容设备, 依次试用样品, 感受使用过程, 根据自身感官体验对样品打分。需特别说明的是, 感官测试样品均未使用原包装, 改用同种无标签广口瓶作为样品容器, 以避免受试者主观认知的影响。

2 结果

2.1 性能评价: 以表1中的5种市售样品为测试对象, 对本文提出的5个评价指标重复测量10次计算均值以消除误差, 分析样品差异以说明所提评价指标及测试方法的科学性及其有效性。

2.1.1 导电性: 结果显示, 2号样品的导电性最好, 3号样品的导电性较低, 4号样品的电导率与1号最为接近, 但5号样品的电导率明显低于其他样品, 不利于电流的传导。见图3。

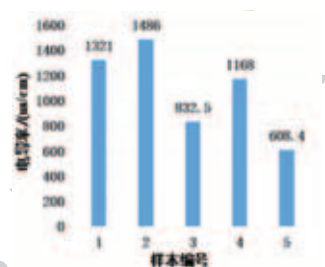


图3 5种市售样品的电导率测量结果

2.1.2 散热性: 结果显示, 在三种专用射频传导介质中, 1号样品的红外线阻隔率最低, 含水量最高; 在两种射频传导介质的平价替代品中, 4号红外线阻隔率较低, 5号含水量较高。见图4。

2.1.3 润滑性: 5种市售射频传导介质的黏度测量结果差异性较大, 1号样品的黏度最高, 2号样品和5号样品黏度较低且相近。见图5。

2.1.4 导光性: 结果显示, 因1号、3号、4号、5号样品均为透明凝胶质地, 可见光透过率测量结果均较高; 而2号样品为半透明凝胶质地, 可见光透过率较低。见图6。

表2 感官测试评价指标

序号	体感指标	评价阶段	指标描述
1	延展性	治疗过程中	用于描述传导介质在配合射频美容设备使用过程中是否有效减小摩擦阻力、易于推开
2	流动性	治疗过程中	用于描述传导介质黏度是否适宜, 是否发生使用过程中滴落的不良情况
3	挥发性	治疗过程中	用于描述传导介质的挥发速度是否适宜, 能否在5~10 min的美容过程中维持有效润滑, 无需补涂
4	吸收性	治疗结束后	用于描述美容结束后传导介质的吸收情况
5	黏滞感	治疗结束后	用于描述美容结束后的传导介质残留是否过于黏腻
6	水润感	治疗结束后	用于描述美容结束后的表皮肤感



图4 5种市售样品的红外线阻隔率及含水量测量结果



图5 5种市售样品的黏度测量结果



图6 5种市售样品的可见光透过率测量结果

2.2 感官评价：结果显示，五种样品均为凝胶质地，有利于射频美容设备的使用，因此在延展性、流动性及挥发性上差异不大。而在射频美容治疗结束后，相比平价替代品，专用射频传导介质的吸收性、黏滞感及水润感获得的好评更多。对于平价替代品而言，4号的感官体验优于5号。见图7。

3 讨论

射频美容技术具有非侵入、无创伤、恢复期短、疗效显著等优势，被广泛应用于面部皮肤抗衰老^[13]。该技术的治疗需在皮肤表面涂抹射频传导介质，在传导介质导电、散热以及润滑的辅助作用下，通过皮肤组织的电热耦合效应，将治疗头发出的高频电流转换为加热真皮层胶原的热量^[14-15]。因此，射频传导介质对射频美容技术的作用效果存在影响。

为完善射频美容的理论框架，本文提出以电导率、红外线阻隔率、含水量、黏度和可见光透过率5个指标定量评价传导介质的技术要求：①电导率反映介质导电性，高导电性可促进射频电流穿透高阻抗表皮，提升真皮能量聚集效率；②红外线阻隔率表征辐射散热能力，低阻隔率有助于降低表皮热损伤风险；③含水量作为传导散热与蒸发散热的替代指标，水分的高比热容特性可增强介质的热调控能力；④黏度影响治疗头滑动顺畅度，适中的黏度可保障加热均匀性并减少机械损伤；⑤可见光透过率确保介质与LED光疗的兼容性。此外，通过延展性等6项体感指标建立感官评价体系，为传导介质的优化设计提供多维度的量化依据。该评价体系从物理参数与用户体验双重维度，系统阐释

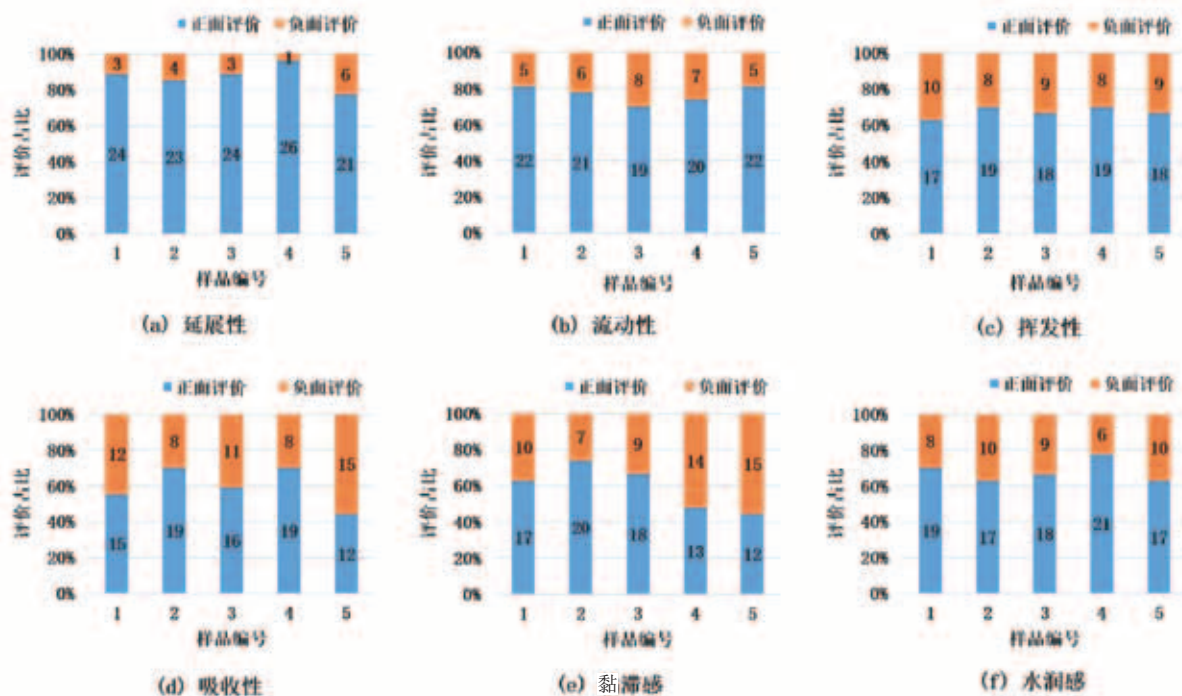


图7 5种市售样品感官测试的正面及负面评价占比

了传导介质对射频美容有效性及安全性的协同增强机制。

本研究通过对比三种专用射频传导介质, 2号样品的导电性最好, 可适配电流值较小的射频美容设备; 3号样品的导电性最低, 可适配电流值较大的射频美容设备。对于导电性而言, 4号样品的电导率与1号最为接近, 可考虑作为1号样品的平价替代品; 但5号样品的电导率明显低于其他样品, 不利于电流的传导, 不适合作为射频传导介质的替代品。红外线阻隔率用于分析传导介质对于表皮的辐射散热能力, 红外线阻隔率越低, 表示辐射散热能力越强; 含水量用于分析传导介质对于表皮的传导散热、传导介质与空气之间的蒸发散热, 含水量越高, 表示传导散热及蒸发散热能力越强。三种专用射频传导介质中, 1号样品的红外线阻隔率最低, 含水量最高, 即1号样品的散热性能最好。在两种射频传导介质的平价替代品中, 4号红外线阻隔率较低, 5号含水量较高, 说明两者的散热性能均能满足要求。5种市售射频传导介质的黏度测量结果差异性较大, 传导介质具有适当的黏度有利于仪器治疗头在皮肤表面的顺滑移动, 黏度过大有可能造成摩擦导致的表皮机械损伤, 且体感较差; 黏度过小则会造成使用过程中样品滴落。应根据实际使用场景、治疗头材质、外观等综合定义适宜的黏度范围。可见光透过率结果显示, 2号样品可见光透过率较低, 相比2号样品, 其他样品更适合用于LED光疗美容。五种样品在延展性、流动性及挥发性上差异不大, 而相比平价替代品, 专用射频传导介质的吸收性、黏滞感及水润感获得的好评更多。对于平价替代品而言, 4号的感官体验优于5号。

以5种市售的射频美容传导介质为测试对象开展实验, 验证了所提的评价指标、仪器测试方法及感官测试方法能够科学评价射频美容对于传导介质的技术、体感要求。综上, 所提评价指标及测试方法有助于客观评估传导介质应用于射频美容治疗的适用性, 能够为企业研发、消费者选购射频传导介质提供理论依据。

利益冲突声明: 所有作者均声明论文无相关利益冲突。

[收稿日期]2023-11-03

[参考文献]

[1] 闫飞. 射频技术在皮肤抗衰老方面的应用进展[J]. 中国美容医

学, 2017,26(6):96-99.

[2] 闫洁, 吴国选, 张歌, 等. 非侵入式射频在面部年轻化治疗的有效性和安全性[J]. 局解手术学杂志, 2017,26(5):366-369.

[3] Lolis M S, Goldberg D J. Radiofrequency in cosmetic dermatology: a review [J]. Dermatol Surg, 2012,38(11):1765-1776.

[4] 杨蓉娅, 尹锐. 医用射频皮肤美容与治疗专家共识[J]. 实用皮肤病学杂志, 2021,14(4):193-197.

[5] 黄凯杰, 杜娟. 浅谈琼脂作为家庭美容仪的人造皮肤材质的研究[J]. 家用电器, 2020, 169(1):15-20.

[6] 冯永强, 黄绿萍. 射频技术在美容整形中的应用进展[J]. 中国美容医学, 2015,24(2):78-81.

[7] Martin J C, Dokic Y, Munavalli G, et al. Bipolar fractionated radiofrequency midface lift: A retrospective review[J]. J Cosmet Dermatol-US, 2022, 21(1): 268-270.

[8] 南宇晴, 宋为民, 许阳. 射频在皮肤美容科的临床应用进展[J]. 中国美容医学, 2022,31(12):188-191.

[9] 杨娇, 张正中. 微针射频在皮肤美容中的应用进展[J]. 中国美容医学, 2022,31(11):193-196.

[10] Bloom B S, Emer J, Goldberg D J. Assessment of safety and efficacy of a bipolar fractionated radiofrequency device in the treatment of photodamaged skin[J]. J Cosmet Laser Ther, 2012, 14(5): 208-211.

[11] 董华, 张菁, 郭英. 光电声技术在面部年轻化的应用进展[J]. 中国美容整形外科杂志, 2022,33(9):524-527.

[12] Hugul H, Oba M C, Kirisci M, et al. Focused radiofrequency and ultrasound for face and neck rejuvenation: A retrospective evaluation of 158 patients[J]. J Cosmet Dermatol-US, 2022,21(1):290-295.

[13] 王琴, 米晶, 董继英. 聚焦射频技术在面部年轻化中的应用[J]. 组织工程与重建外科杂志, 2016,12(3):183-185.

[14] 杨今言, 束运超, 詹明峰. 黄金微针射频联合rb-bFGF治疗面部痤疮凹陷性瘢痕疗效分析[J]. 中国美容医学, 2023,32(1):115-118.

[15] Seo K Y, Kim D H, Lee S E, et al. Skin rejuvenation by microneedle fractional radiofrequency and a human stem cell conditioned medium in Asian skin: a randomized controlled investigator blinded split-face study[J]. J Cosmet Laser Ther, 2020, 22(4/5):215.

本文引用格式: 何冰冰, 张梅, 马骁, 等. 射频传导介质的评价指标及测试方法[J]. 中国美容医学, 2025,34(10):22-26.

· 告作者和读者 ·

版权转让声明

凡向本刊所投稿件, 全体作者需在收到编辑部发出的稿件回执时签署《论文投送介绍信》, 将该论文的汇编权、发行权、印刷版和电子版的复制权、翻译权、信息网络传播权在世界范围内转让给本刊。本刊已加入《中国学术期刊综合评价数据库》, 被《中国期刊网》和《中国学术期刊(光盘版)》全文收录。凡被本刊录用的稿件将同时通过因特网进行网络出版或提供信息服务, 并赠送当期杂志两册。