

碳纤维实现睑板腺按摩仪柔性气囊热敷技术研究

张建寰¹ 徐功浩¹ 周圆¹ 洪朝阳² 刘岩¹ 陈延平¹ 李炜³

1 厦门大学机电工程系测控技术研究所 (厦门 361005)

2 福建师范大学光电学院 (福州 350117)

3 厦门大学医学院眼科中心 (厦门 361005)

文章编号: 1006-6586(2014)05-054-04 中图分类号: R318.08 文献标识码: A

收稿日期:
2013-12-04

内容提要: 睑板腺功能障碍是引发干眼症的主要原因之一。睑板腺按摩配合热敷是一种治疗睑板腺功能障碍的有效辅助手段。该文针对自主设计的辊式睑板腺按摩仪, 对其柔性气囊的热敷方式进行设计。采用碳纤维作为电发热丝, 构成与柔性基材集成的电路, 并配合控制电路, 实现了对气囊的加热和温度控制。同时, 研究了气囊与碳纤维的集成工艺, 利用热压技术实现了碳纤维和柔性TPU薄膜的紧密结合, 而不会影响按摩仪的按摩效果。该方法还可应用到其他以柔性材料为基材实现热敷的医疗器械中。

关键词: 睑板腺按摩仪 柔性气囊 热敷 碳纤维

Research of Flexible Gasbag Hot Compress Therapy of Meibomian Gland Massage Using Carbon Fiber

Zhang Jianhuan¹ Xu Gonghao¹ Zhou Yuan¹ Hong Chaoyang² Liu Yan¹ Chen Yanping¹ Li Wei³

1 Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University (Xiamen 361005)

2 College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University (Fuzhou 350117)

3 Medical College, Xiamen University (Xiamen 361005)

Abstract: Meibomian gland dysfunction (MGD) is one of the main reasons for dry eye and Meibomian gland massage with hot compress therapy is an effective adjunct therapy for MGD. Based on the self-designed meibomian gland massager, a method of heating is designed with flexible gasbag in this paper. With control circuit and flexible circuit made of carbon fiber, as electric heating wire, it's able to heat the gasbag and control the temperature. An integrated technology for gasbag and carbon fiber which using hot-pressing to make TPU and carbon fibers fit closely together, will not have influence on the massage. According to this, this technology is applicable for other medical devices with flexible material and hot compress therapy.

Key words: Meibomian glands massager, flexible gasbag, hot compress therapy, carbon fiber

1. 前言

睑板腺功能障碍是引发蒸发过强型干眼症^[1-4]的主要原因之一。在临床上, 使用睑板腺按摩的

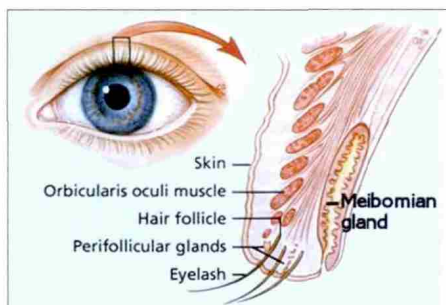


图 1. 睑板腺及睑板腺阻塞病变图



图 2. 翻开睑板腺手动按摩治疗方法图

方法^[5-6]，配合热敷^[7-8]的软化作用，将睑板腺中的阻塞物挤压出来，从而达到辅助治疗的目的。人工按摩过程：医生一只手使眼睑外翻，另一只手使用无菌生理盐水棉签对睑板腺进行挤压。该过程较为繁琐，按摩效果受操作人员经验的影响较大，同时眼睑外翻、按压力度不均等易引起患者不适。因此，用睑板腺按摩仪替代医生的人工操作，不仅是一种有效治疗方法，患者还可以在家使用，起到保健和预防的作用。

按摩仪对睑板腺阻塞的治疗作用，要先经过一个热敷的过程。医生手动治疗的热敷方法就是通过热手巾对人眼睑部位进行加热。而按摩仪要实现睑板腺阻塞物的加热软化，需要热源通过气囊对眼睑部位加热。

常用的气囊实现加热的方法主要有这样几种：气囊与眼睑之间铺入热湿巾，加热之后移开再进行按摩操作。湿巾热敷再移开的方法，使加

热与按摩分时进行，不利于睑板腺的持续加热，影响治疗效果，且容易使气囊沾湿，影响按摩仪的按摩性能，明显使用不方便；红外线辐照眼睑部位加热的方法，气囊需要考虑吸收红外和透红外的性质，限制了气囊的选择，需要增加红外辐射源、供电电路且要定向装置，从实际使用的加热效果看并不理想；直接电加热气囊实现眼睑热敷是一种理想的方法，可以使热敷和按摩的过程同时进行，治疗效果理想。但在实际开发气囊加热敷功能的过程发现存在着以下几点需要解决的问题：气囊发热方法，要求既可以发热，又不能影响按摩效果；需要实现温度控制，不可过热；柔性气囊发热电路制作困难；与供电导线的连接存在局部电阻过大导致的局部过热的问题等。

本文针对辊式睑板腺按摩仪外部加热气囊的热敷方式进行设计，使气囊在实现眼睑热敷的同时，不影响按摩辊的按摩效果。

2. 对象与方法

2.1 按摩仪的结构介绍

所设计的睑板腺按摩仪机械结构和气囊如图 3、图 4 所示。通过左右按摩模块分别对左右眼按摩；通过每个按摩模块的上下两个按摩辊反向相位差 180 度的滚动，分别对上下眼睑实现按摩；每个模块在电机带动下沿圆弧齿左右扫描运动，实现按摩轨迹的包络，达到眼睑无按摩盲区的效果。

要实现阻塞睑板腺疏通治疗目标，仅有上

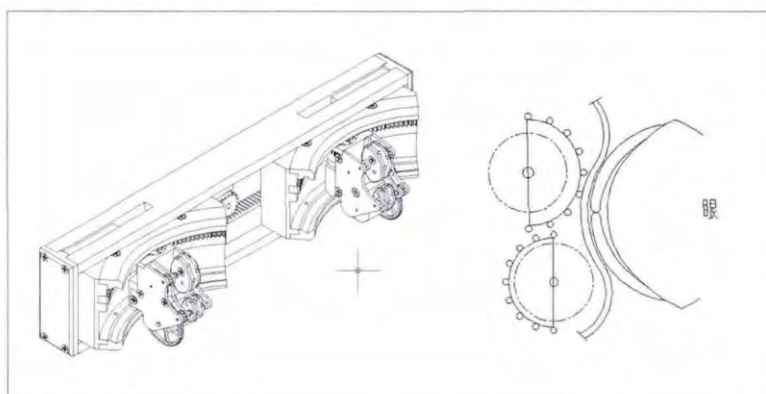


图 3. 睑板腺按摩仪结构图

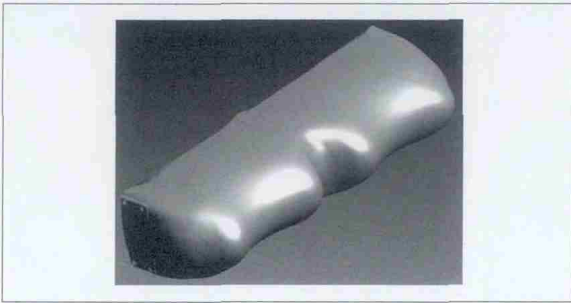


图 4. 柔性气囊外形图

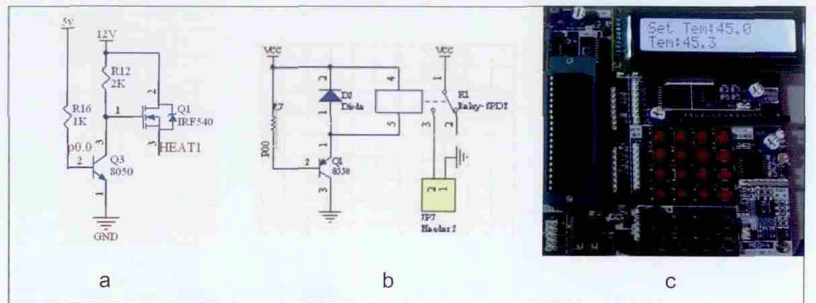


图 5. 加热及温度测量和控制电路图 (a. 加热电路, b. 温度测量与控制电路, c. 温度测量实验板)

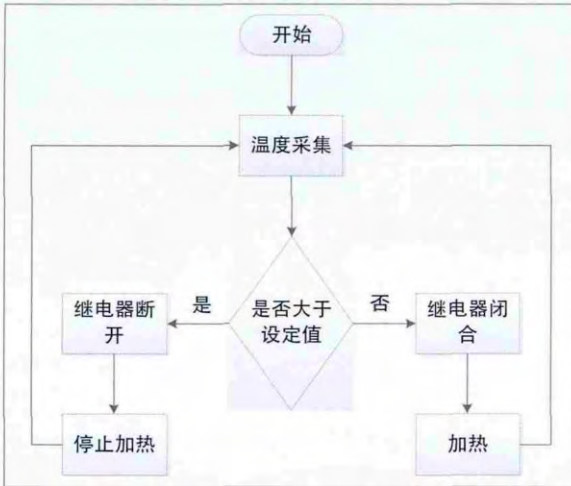


图 6. 温度控制框图

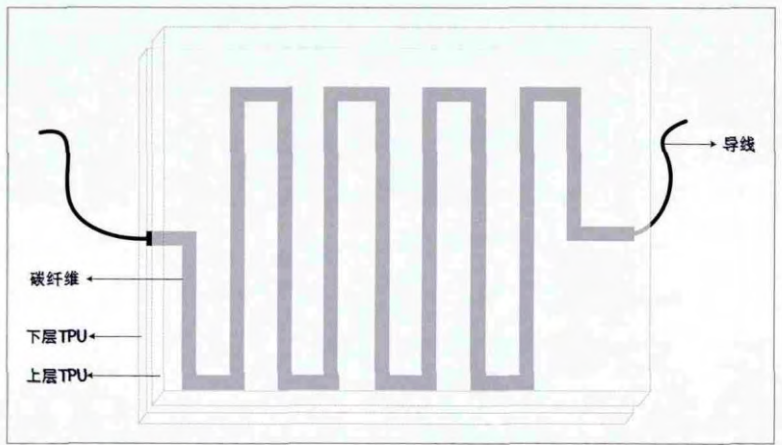


图 7. 气囊与碳纤维集成图

述按摩功能是无法做到的，需要对睑板腺进行热敷。因此，需解决图 4 中柔性气囊上增加热敷功能的问题。

2.2 碳纤维实现柔性加热方案

在柔性气囊上采用电加热的方法，其加热电路需要考虑柔性基材对电路的影响，即电路也必须是柔性，且可以与气囊紧密贴合，不会影响按摩效果。因此，提出应用柔性材料碳纤维搭建电路实现加热，对睑板腺热敷的方案。

2.2.1 碳纤维导电特性测试

碳纤维具有较好的柔性，直径小，单丝直径只有几个微米。碳纤维材料的导电特性好，机械强度较大^[9-11]，既满足柔性和韧性要求，又不会对按摩动作的效果产生影响。因此设计了碳纤维加热电路。

从防辐射面料上裁剪下一块，拆下其中的碳纤维丝，测量其中电阻率，其电阻率刚好适合做电发热丝。

$$\text{一束纤维的电导率: } \rho = \frac{RS}{L} = 27.045 \Omega \text{mm}^2 / \text{m}$$

2.2.2 碳纤维发热电路设计

以一束碳纤维作为发热器件，构成与柔性基材集成的电路，实现睑板腺的热敷。发热电路如图 5a 所示，图 5b 为温度测量和控制电路，图 5c 为温度测量与控制实验结果。

2.2.3 温度控制方案及实测

控制电路及控制器如图 5b 所示。所用温度传感器为 K 型热电偶芯片，面积只有 1.5mm 左右。

采用继电器进行温度控制。温度达到设定值，继电器断开，加热电路断电，停止加热。当温度低于设定值时，继电器动作，电路上电，开始加热。

经温度传感器反馈控制，可实现恒定温度 45° 的热敷要求。温度被测结果如图 5c 所示。

温度控制框图如图 6 所示。

2.3 气囊与碳纤维集成工艺

将碳纤维束拆成单丝铺平在 0.1mm 厚的 TPU

(下转第 80 页)

DNA 以及其他重要的细胞成分损伤。银离子通过抑制蛋白质合成来灭活微生物。过氧化氢和银离子的独特组合为杀灭微生物提供有效的双重机制。

BW 新品

(1) “智慧消融的能量、体验科技之美” —— SmartAblate™ System 智能消融灌注系统：

Carto3 一脉相承的典雅外观、方便快捷的触屏设计、个性化的设置、现代化导管室的智能装备



(上接第 56 页)

薄膜上，碳纤维丝所覆面积与上下眼睑面积相当。在其上采用热压技术覆盖一层同样厚度的 TPU 薄膜，使两层结合紧密。在两端仍保持束状，以与电路相连。束状接头没有夹在 TPU 薄膜之间，而

是悬空。碳纤维单丝直径只有几个微米，因此，铺平后厚度只有几个微米，夹在两层 TPU 薄膜间，依然可以保持所需要的柔性，对按摩辊的按摩效果影响不大。结构示意图见图 7 所示。

3. 结果与讨论

以碳纤维作为发热元件，从电特性测试效果看完全可以实现热敷目标，所设计的温度控制电路已经实现了稳定的热敷温度；将碳纤维与柔性基材集成后，厚度、硬度、柔性等方面满足了按摩效果要求。但若加工成带热敷功能的气囊产品，会存在因长期按摩使气囊夹层粘结失效分离，从而影响热敷效果和造成加热电路损坏等潜在的不利因素。此外，碳纤维与电路连接采用普通焊料

连接，存在局部电阻过大而产生局部过热现象。目前解决局部过热对气囊材料影响的方案是使碳纤维与导线的接点悬空，不与气囊接触，从而避免气囊材料因过热损坏。因此，采用碳纤维做为发热元件实现气囊对睑板腺热敷效果，还需要在碳纤维与基材集成工艺和导线与碳纤维连接工艺这两方面上开展进一步的工作。

参考文献

- [1] 刘祖国. 干眼的治疗 [J]. 中华眼科杂志, 2006, 42(1):71-74.
- [2] Paul J. Driver, Michael A. Lemp. Meibomian gland dysfunction[J]. Survey of Ophthalmology, 1996, 40(5):343-367
- [3] JM Tiffany. Tears in health and disease[J]. Eye, 2003, 17:923-926
- [4] 李海燕. 睑缘炎、睑板腺功能障碍与干眼症 [J]. 国外医学眼科学分册, 2003, 27(2):67-72.
- [5] 高莹莹, 庄铭忠, 范春梅. 睑板腺压榨治疗睑板腺开口阻塞的疗效观察 [J]. 中国全科医学, 2010, 13(2C):653-654.
- [6] 刘敬楠, 董桂霞. 睑板腺功能障碍致蒸发过强性干眼症患者的护理 [J]. 解放军护理杂志, 2011, 28(10B):58-59.
- [7] Asako Mori, Jun Shimazaki, Shigeto Shimmura, et al. Disposable eyelid-warming device for the treatment of meibomian gland dysfunction[J]. Japanese Journal of Ophthalmology, 2003, 47: 578-586
- [8] 钟刘学颖, 李莹. 导致睑板腺功能障碍的相关因素及治疗 [J]. 国际眼科纵览, 2006, 30(5):328-332.
- [9] 黎小平, 张小平, 王红伟. 碳纤维的发展及其应用现状 [J]. 高科技纤维与应用, 2005, 30(5):24-30.
- [10] 上官倩英, 蔡柳花. 碳纤维及其复合材料的发展及应用 [J]. 上海师范大学学报 (自然科学版), 2008, 37(3):275-279.
- [11] 贺福. 碳纤维及其应用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.