

用于康复治疗的磁振热理疗仪设计

张向学¹, 胡秀枋¹, 张娇娇², 徐秀林¹

1. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093; 2. 河南省医疗器械检验所, 河南 郑州 450000

【摘要】开发一种用于康复治疗的磁振热理疗仪,该理疗仪包括磁热振子与控制系统两部分,磁热振子提供磁、振、热3种物理治疗因子,控制系统实现对时间设定与治疗温度实时监控,能够为患者提供磁场强度、治疗温度、振动按摩等参数多种选择。通过对该理疗仪的磁热振子进行实验,结果显示其含芯线圈的温度在通电5 min后可以达到稳定,且可以通过设置工作电源电压对温度进行精确控制。实验结果证明,该磁振热理疗仪具有多磁场强度、温度独立设置、两种按摩方式等特点,能够很好满足临床上不同患者的需求。

【关键词】磁振热理疗仪;控制系统;磁热振子;治疗温度

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)01-0097-05

Design of magnetic resonance-guided thermal therapy device for rehabilitation

ZHANG Xiangxue¹, HU Xiufang¹, ZHANG Jiaojiao², XU Xiulin¹

1. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. He'nan Province Medical Instrument Testing Institute, Zhengzhou 450000, China

Abstract: A magnetic resonance-guided thermal therapy device is designed for rehabilitation. The physiotherapy device consists of magnetothermal oscillator and control system. The magnetothermal oscillator provides 3 kinds of physical therapy factors, namely magnetism, oscillation and heat; and the control system achieves time setting and real-time monitoring of treatment temperature. The physiotherapy device can provide patients with more choices of magnetic field, treatment temperature, vibration massage and other parameters, thereby further maximizing the therapeutic effect. The magnetothermal oscillator of the physiotherapy device is tested and the results show that the temperature of the core-containing coil can be stabilized after being energized for 5 min and the temperature can be precisely controlled by setting the working power voltage. The results of this study confirm that the magnetic resonance-guided thermal therapy device has several advantages, including multi-magnetic field strength, independent temperature setting and two kinds of massage modes, which can well meet the needs of different patients.

Keywords: magnetic resonance-guided thermal therapy device; control system; magnetothermal oscillator; treatment temperature

前言

人口老龄化严重,骨关节疾病、软组织损伤等疾病直接影响着老年人的生活质量^[1]。在我国,有超过1亿的人群患有骨关节疾病,其中60岁以上的老年人患有不同程度的骨关节疾病的比例超过50%。与此同时,在软组织损伤的临床治疗中,占有较高比例的

慢性、顽固性颈肩腰腿痛的患者,一般常规的药物治疗效果不佳^[2-3]。近年来,在临床实践中涌现出许多新技术和新方法^[4],出现了多种物理治疗仪器用于骨关节炎、软组织扭损伤和腰肌劳损等相应疾病的医治^[5]。特别是一些多种物理治疗因子融合于一体的治疗仪,受到医学工作者的广泛关注,如磁振热治疗仪、超短波治疗仪等^[6]。磁振热治疗仪是将磁疗、温热治疗与微振动治疗结合在一起的综合性治疗仪^[7]。它融入了磁疗原理和现代针灸,可以仿生出一种稳定并符合人体的电磁环境,并借助于磁、振、热3种物理因子对疾病进行治疗^[8]。

国外对磁振热理疗设备的研究较早。19世纪末,日本发明了HM-2SC-A型温热磁振治疗仪,该治疗仪磁场范围0~38 mT,40℃、50℃、60℃、65℃共4级温度可

【收稿日期】2018-08-22

【基金项目】上海市科委科技支撑计划项目(15441906200)

【作者简介】张向学,硕士研究生,主要从事精密医疗仪器研究,
E-mail: 574186214@qq.com

【通信作者】徐秀林,教授,研究方向:医疗仪器开发及医疗器械检测技术,
E-mail: xxlin100@163.com

调,振动频率 50~120 Hz,初步实现了磁振热理疗仪在临床中的运用^[9]。2008年,日本伊藤研制了磁振热理疗仪,该理疗仪具有恒定磁场范围 0~40 mT、4级温度可选、3种振动模式可选和多通道使用等功能,实现了磁振热理疗仪走向家用^[10]。在我国,由于治疗模式下振动和热疗功能是伴随产生的,磁振热理疗仪磁场强度、振动按摩强度、热疗功能3项技术参数均不能单独调节到确定值,适用范围窄且治疗效率相对较低^[11]。目前市场上的磁振热理疗仪治疗温度和磁场参数较单一,不利于皮肤耐热差及对磁场环境需求较高的患者使用,而且预热慢,实际治疗时间少,影响疗效^[12]。针对上述缺陷,本研究设计一种预热快、结构简单、治疗温度可调、4档磁场强度可选,并具有持续与断续两种振动按摩方式的磁振热理疗仪。

1 功能及性能指标

本研究的磁振热理疗仪,其功能包括多档磁场范围、治疗时间与治疗温度可调、两种振动方式,为患者提供更多治疗参数选择,实现疗效最大化。其性能指标如下:(1)为实现不同患者对治疗磁场的要求,提供4档磁场强度独立可选,第一档 0~60 mT,第二档 60~120 mT,第三档 120~150 mT,第四档 150 mT 及以上;(2)为实现不同患者治疗时间的要求,治疗时间 1~99 min 可预置;(3)为满足不同患者治疗温度需求,同时保证治疗中的安全性,治疗温度 30℃~45℃ 可预置;(4)为适应不同患者振动按摩方式的需求,提供持续振动和断续振动两种振动按摩方式,振动频率 50 Hz;(5)电源:交流电(6±5)V,频率 50 Hz。

2 磁振热理疗仪总体设计

该磁振热理疗仪主要由磁热振子和控制系统两部分组成,磁热振子主要作用于患者皮肤,提供磁、振、热3种物理治疗因子,控制系统能够精确地控制磁热振子治疗温度和治疗时间,实现治疗温度实时监控,设定治疗时间和保证治疗过程中的安全性、稳定性。该磁振热理疗仪的整体结构框架如图1所示。

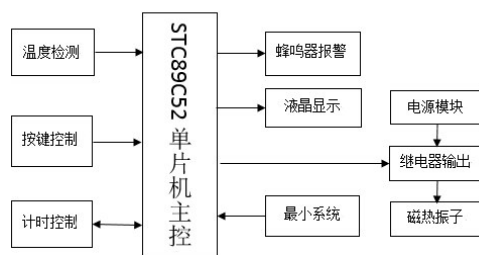


图1 磁振热理疗仪整体结构框图

Fig.1 Diagram of the overall structure of magnetic resonance-guided thermal therapy device

3 磁热振子设计

磁热振子实物如图2所示,该磁热振子主要由固定装置、磁铁和含芯线圈组成。固定装置上有多个平行分布的沟槽,两端的沟槽内固定安装磁铁,其余沟槽安装平行设置的含芯线圈以及共振磁条。相邻磁条的极性相反,产生恒定的磁场。当通入 50 Hz 交流电时,磁热振子中的含芯线圈产生交变的磁场,受磁条产生的恒定磁场作用产生振动,含芯线圈周围的共振磁条随之发生共振。同时线圈内铁芯处于交变磁场中,交变的磁通量使其产生感应电流,由电流的涡流效应产生热量。因此通过该磁热振子可以得到磁、振、热3种物理因子。

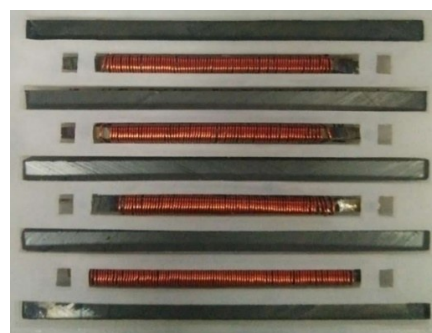


图2 磁热振子实物图

Fig.2 Magnetothermal oscillator

为了提供安全可靠的治疗环境,固定装置选用耐高温材料进行制作,避免通电时含芯线圈发热而造成装置变形、融化以及与线圈粘连;与此同时,因通电后含芯线圈与共振磁铁会不断振动,会与固定装置之间进行高频率碰撞,易使装置变形、可用性降低,所以选择的材料还需要有一定的强度和耐磨的特性。为了实现磁热振子的快速预热,保证患者的治疗时间,采用导磁好、内阻大、损耗小的硅钢材料作为线圈铁芯,可以快速发热,还可减小涡流,提高温度的可控性。

4 控制系统的实现

该控制系统主要功能包括控制治疗温度范围和治疗时间、实时显示当前温度以及通过反馈控制使温度保持稳定,确保磁热振子进行安全可靠的工作。当治疗时间与治疗温度上限下限值等参数设置完毕,磁热振子开始工作,温度传感器采集到温度数据,通过 C52 单片机处理并显示。当治疗时间未结束时,治疗温度大于设定上限值时,继电器断开停止加热,反之,继电器闭合开始加热,治疗温度在上限与下限值之间进入保温状态;当治疗时间结束,蜂鸣器鸣叫并切断继电器,磁热振子工作结束。

4.1 治疗温度采集装置设计

磁振热理疗仪实际治疗温度设置为30℃~45℃。温度采集装置采用美国DALLAS公司生产的DS18B20温度传感器进行温度数据采集^[13]。工作时温度传感器DS18B20探头固定安装于磁热振子旁,将温度变化的模拟量信号通过A/D转换模块转变为数字量信号传入单片机,然后经过单片机处理单元内部的程序算法将这个数字信号和温度值相关联,最后得到可以显示出来的温度值^[14]。通过对治疗温度的实时监控,可以为患者提供更安全、稳定和精确的温度选择,实现治疗时温度范围的控制。

4.2 计时功能设计

本文采用美国DALLAS公司生产的高性能、低功耗的实时时钟芯片DS1302实现计时^[15]。磁振热理疗仪可为患者提供不同治疗时间的选择,根据患病程度不一,患者皮肤敏感程度不同,选择相应的治疗时长。该计时功能可以实现1~99 min的时长设定,当到达设定时间时,系统自动切断磁热振子工作电源,停止治疗。

4.3 显示界面设计

本文采用DS1602显示治疗时间和治疗温度。显示界面主要包括工作界面和参数设置界面。图3为控制电路及其实物图,此时为工作界面,Time为治疗时间,显示时、分、秒;Temperature为磁热振子治疗温度实时跟踪显示。设置界面包括Up、Down、Z、Q这4个参数值。其中Up为治疗温度上限值,Down为治疗温度下限值,当温度传感器获得的温度值低于Down下限值时,磁热振子继续加热;当温度值达到Up上限值时,磁热振子停止加热;当温度值为Up与Down之间时,磁热振子为稳定的保温状态。Q为治疗时间起始值,Z为治疗时间终止值,可根据患者需求进行设置。

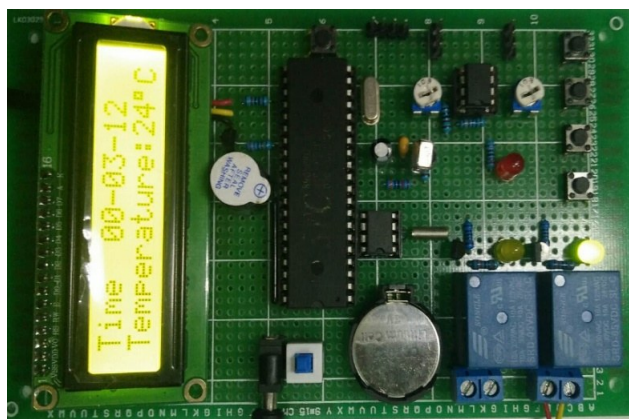


图3 控制电路及其实物图

Fig.3 Picture of control circuit

4.4 按键控制设计

本文的磁振热理疗仪有5个主要功能按键,编号分别为1~5。按键1为界面切换与选中设置位置按钮,按第一下按钮进入设置界面Up值设定位置,再按一下进入Down值设定位置,然后依次进入治疗时间终止值的小时位置与分钟位置,最后回到工作界面,如此循环即可实现选中设定值位置;按键2和按键3为加键和减键,当按键1选中设定位置时,实现加减功能,如果按键1没有选中,按键2和按键3功能锁死;按键4为执行按钮,当治疗时间与治疗温度值设置完毕,点击按键4,回到工作界面,并执行;按键5为振动按摩方式选择键,当被选中时提供一个8 V的AC电压源,根据温度变化切换继电器的工作状态实现断续振动,并保持温度稳定。当未被选中时,根据患者治疗温度需求选择不同交流电压源,实现持续振动。

5 治疗温度功能测试

磁振热理疗仪是进行与人体接触式治疗,磁热振子是重要的组成部分,磁热温度是磁振热理疗的重要参数。Greenhalgh等^[16]发现当人体皮肤接触44℃的热源达8 h时,可以造成轻度的烫伤,如皮肤被烫红、起水泡等。Herndon^[17]认为当温度达到44℃或更高时,积累的损伤便超过了细胞自身的修复能力,当达到足够的时间时,可能会最终导致组织坏死。Moritz等^[18]通过研究发现,当与温度为49℃的热源保持接触持续3 min时只产生局部红斑而无明显的表皮损伤,而同样的温度接触9 min时,则可能导致明显的皮肤坏死。这就对磁振热理疗仪的温度控制和磁热振子产热的机制有很高的要求,所以需要对磁热振子产生的温度是否达到设定的有效治疗温度进行测试。

将DS18B20接触式温度传感器探头固定好放在磁热振子线圈旁边,DS1602实时显示测量得到的治疗温度数据。每次测量时间为100 min,环境温度为22℃,工作电源电压交流电1.6 V,经过15次实验测量,结果显示该磁热振子线圈在通电工作时,温度在开始时上升5 min左右到达一个稳定不变的状态直到实验结束。将采集到的数据通过MATLAB进行拟合曲线,得到磁热振子工作时治疗温度曲线如图4所示。由此可知,该磁热振子在工作时能够实现快速预热,并提供稳定的治疗温度。

根据涡流效应可知线圈中铁芯的热能与线圈中的交流电压值有关,所以改变磁热振子产生的热能可以通过改变线圈两端的交流电压实现。实验设计

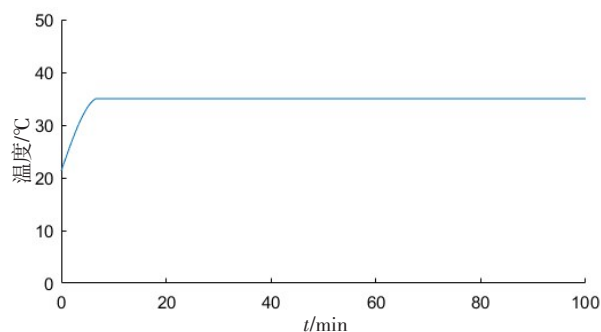


图4 磁热振子工作时治疗温度变化过程

Fig.4 Temperature change during operation of a magnetothermal oscillator

如下:环境温度22℃,选取15个不同的交流电压值,每组交流电压值进行两次实验,磁热振子工作时间100 min,并记录每次实验得到的最终平衡温度值,取出两次实验温度结果的平均值。通过MATLAB将交流电压值、温度平均值导入进行拟合得到如图5所示的电压-温度曲线图。其方程为:

$$f(t) = 9.719 \times e^{0.9788t} - 3.841 \quad (1)$$

由图5可知,该磁热振子两端的AC电压增大铁芯表面的温度也随着增大,呈上升趋势,说明磁热振子的治疗温度与电源电压呈正相关,因此通过调节电源电压的大小来调节治疗温度以实现安全可靠的治疗。

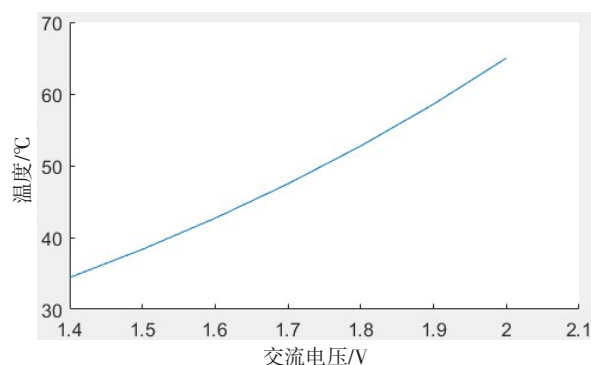


图5 电压温度曲线图

Fig.5 Voltage-temperature curve

6 讨论

磁振热理疗仪在物理康复治疗领域是一种可靠的手段,能有效帮助患者消除疼痛,快速恢复,目前已经越来越多被运用到慢性软组织损伤和颈肩腰腿痛的辅助治疗中。适应症包括软组织挫伤、腰肌劳损、慢性支气管炎、坐骨神经痛、各种关节炎以及缓解术后伤口愈合等^[19]。

现有的磁振热理疗仪多数为磁场、温度、振动等

参数选择单一,适用范围低,预热慢。本文设计的磁振热理疗仪,采用磁热振子多模块,根据不同的磁铁材料表磁特性,提供更多的磁场参数选择,如采用铁氧体、普通磁铁、强磁等材料相互搭配,可产生不同的治疗磁场环境,有助于使磁振热理疗仪中的磁疗疗效最大化。选择硅钢材料放在线圈里,因硅钢材料内阻大,能实现快速预热。温度独立调节、实时监控,避免不同患者皮肤承受能力不同而造成灼伤或烫伤,可以更好地满足患者需求。提供持续振动与断续振动两种振动模式,避免部分患者长时间持续的振动治疗带来的不舒适而影响治疗效果。该磁振热理疗仪多参数可调节,但该产品的穿戴方式尚需进一步开发研究。

【参考文献】

- [1] 刘永祥. 观察加长型股骨近端抗旋髓内钉治疗青壮年股骨粗隆下粉碎性骨折的临床效果[J]. 中国继续医学教育, 2015, 7(28): 89-90. LIU Y X. Observation clinical effect of lengthened proximal femoral nail anti-rotation in treatment of young subtrochanteric comminuted fracture[J]. China Continuing Medical Education, 2015, 7(28): 89-90.
- [2] 张惠忠, 张锦平, 肖年生. 小针刀治疗慢性软组织损伤的临床应用[J]. 中国实用医药, 2014, 9(2): 61-62. ZHANG H Z, ZHANG J P, XIAO N S. Clinical application of small needle knife in treating chronic soft tissue injury[J]. China Practical Medicine, 2014, 9(2): 61-62.
- [3] 王福根, 富秋涛, 侯京山, 等. 银质针治疗腰椎管外软组织损害后局部血流量变化观察[J]. 中国疼痛医学杂志, 2001, 7(2): 80-82. WANG F G, FU Q T, HOU J S, et al. Study on the changes of the volume of blood flow before and after silver needle acupuncture treatment in patient with extravertebral soft tissue lesion [J]. Chinese Journal of Pain Medicine, 2001, 7(2): 80-82.
- [4] 张琛, 周超, 常鹏. 软组织相关慢性疼痛治疗现状及发展[J]. 中国疗养医学, 2017, 26(4): 361-364. ZHANG C, ZHOU C, CHANG P. Status and development of soft tissue related chronic pain treatment [J]. Chinese Journal of Convalescent Medicine, 2017, 26(4): 361-364.
- [5] FENG Y, YANG H. Rehabilitation effect of massage with thermal magnetic therapy in treating lumbar muscle strain of athletes[J]. Acta Medica Mediterr, 2016, 32: 505-509.
- [6] 湛筱晗, 谢阳象, 高建平. 针刺结合化瘀止痛散治疗退行性膝关节炎分析[J]. 中医临床研究, 2011, 3(5): 74-75. SHEN X H, XIE Y X, GAO J P. An analysis of treating degenerative knee joint disease with acupuncture plus Huayu Zhitong san [J]. Clinical Journal of Chinese Medicine, 2011, 3(5): 74-75.
- [7] 张韧, 赵军. 浅谈针灸治疗在关节疼痛中的临床应用[J]. 世界最新医学信息文摘, 2013, 13(19): 277-278. ZHANG R, ZHAO J. Clinical application in joint pain of acupuncture treatment[J]. World Latest Medicine Information, 2013, 13(19): 277-278.
- [8] OHKUMA M. Treatment of peripheral lymphedema by concomitant application of magnetic fields, vibration and hyperthermia: a preliminary report[J]. Lymphology, 2002, 35(2): 87.
- [9] 彭名松, 刘树全. 常见闭合性软组织损伤的处理[J]. 科学咨询, 2012, 34(12): 64. PENG M S, LIU S Q. Common closed soft tissue injury treatment[J].

- Scientific Advice, 2012, 34(12): 64.
- [10] HASEGAWA H, OHKUMA M. Calcitonin gene-related peptide in lymphedema and its change after physiotherapy by pulse magnetic fields, vibration and hyperthermia[J]. Lymphology, 2010, 21: 1-2.
- [11] 肖开华. 磁场强度、振动强度和温度独立可调的磁振热治疗仪: 中国, 203447645 U[P]. 2014.
- XIAO K H. Magneto-vibration therapeutic instrument with independent adjustable magnetic field intensity, vibration intensity and temperature: CN, 203447645 U[P]. 2014.
- [12] 邹海军, 齐海兵, 潘正中. 磁热按摩理疗仪的制作[J]. 湖北理工学院报, 2012, 28(5): 15-17.
- ZOU H J, QI H B, PAN Z Z. Design of thermo-magnetic therapy apparatus[J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2012, 28(5): 15-17.
- [13] 周光海, 郑日荣, 张长春. 基于Linux的温度传感器DS18B20驱动程序的设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2010, 10(1): 24-26.
- ZHOU G H, ZHENG R R, ZHANG C C. Temperature sensor DS18B20 driver design based on Linux [J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2010, 10(1): 24-26.
- [14] 杨成才. 数字温度传感器DS18B20在医疗设备数字化管理中的开发应用[J]. 医疗装备, 2013, 26(8): 1-4.
- YANG C C. Digital temperature sensor DS18B20 development, application in the digital management of medical equipment [J]. Chinese Journal of Medical Device, 2013, 26(8): 1-4.
- [15] 李伟跃. 基于时钟芯片DS1302的万年历的设计[J]. 科技创新导报, 2012(9): 20-21.
- LI W Y. Design of calendar based on clock chip DS1302[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2012(9): 20-21.
- [16] GREENHALGH D G, LAWLESS M B, CHEW B B, et al. Temperature threshold for burn injury: an oximeter safety study [J]. J Burn Care Rehabil, 2004, 25(5): 411-415.
- [17] HERNDON D N. Total burn care[J]. J Intensive Care Med, 2010, 12(2): 110-111.
- [18] MORITZ A R, HENRIQUES F C. Studies of thermal injury, the relative importance of time and surface temperature in the causation of cutaneous burns[J]. Am J Pathol, 1947, 23(5): 695.
- [19] STRELIS A A, STRELIS A K, ROSKOSHNYKH V K. Vibration massage in the prevention of postresection complications and in the clinical rehabilitation of patients with pulmonary tuberculosis after surgical interventions[J]. Probl Tuberk Bolezn Legk, 2004(11): 29.
- (编辑:陈丽霞)