

乳腺健康监测智能内衣的研究及趋势

黄煜¹, 翟丽娜², 季晓芬^{2,3}

(1.浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 311199;

2.浙江理工大学 国际时装技术学院, 浙江 杭州 311199;

3.中国丝绸博物馆, 浙江 杭州 310002)

摘要:文章梳理了智能内衣的相关研究及文献,并针对智能文胸进行市场调研。阐述乳腺健康监测智能内衣的发展过程及现状,具体包括智能内衣和柔性传感技术的应用实例。基于乳腺癌相关医学理论,对女性健康监控智能内衣的功能性、舒适性的设计要素以及使用中存在的问题进行探讨。最后,从时尚度、舒适度、便利度、信任度等方面,对未来乳腺健康监测智能内衣的发展进行展望。

关键词:乳腺健康监测;智能内衣;柔性织物传感器;温度传感器

中图分类号:TS 941.73

文献标志码:B

文章编号:1000-4033(2024)06-0065-05

Research and Trend of Intelligent Underwear for Breast Health Monitoring

Huang Yu¹, Zhai Lina², Ji Xiaofen^{2,3}

(1.School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou, Zhejiang 311199, China;

2.Zhejiang International Institute of Fashion Technology, Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou, Zhejiang 311199, China;

3.China National Silk Museum, Hangzhou, Zhejiang 310002, China)

Abstract: This paper reviews the related research and literature on smart underwear and conducts market research for smart bras. It describes the development process and current situation of smart underwear for breast health monitoring, including the application examples of smart underwear and flexible sensing technology. Based on the relevant medical theories of breast cancer, the functional and comfortable design elements of smart underwear for women's health monitoring and the problems existing in application are discussed. Finally, the development of smart underwear for breast health monitoring in the future is prospectively discussed from the aspects of fashion, comfort, convenience and trust.

Key words: Breast Health Monitoring; Smart Underwear; Flexible Fabric Sensor; Temperature Sensor

根据世卫组织的《肿瘤防治报告》(IARC)最新报告,全世界女性癌症年龄标准化患病率(ARC)最高的是乳腺癌,而包含中国在内的158个国家发病率最高的癌症也是乳腺癌。虽然目前有各种对女性具有重要意义的疾病筛查方法,但仍有许多不足,如目前较常见的乳腺癌筛查,一般都是借助大型仪器,

并且要经常到医院体检。随着人们对健康监测与疾病预防的愈加重视,女性乳腺健康监测管理应向日常化、舒适化、智能化、便携化转变。

医学研究表明,乳腺肿瘤会在局部体表引起高温,温度作为乳房体征的重要信号,在乳腺健康监测中具有重要参考价值。可穿戴智能监测服饰能有效采集人体生理数

据并进行分析和输出,可实时连续地判断人体生理健康问题和生理变化趋势。可穿戴智能监测内衣可有效监测女性乳房温度变化,以进一步检测乳腺相关疾病的风险性。

1 乳腺健康监测智能内衣的发展现状

1.1 智能内衣的发展现状

目前,智能内衣的功能主要有

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LQ20E060002)。

作者简介:黄煜(2000—),女,硕士研究生。主要从事服装设计与工程方面的研究。

通讯作者:季晓芬(1971—),女,教授,博士。E-mail:xiaofenji@zstu.edu.cn。

3种:健康监测、养生保健、安全防护。智能内衣传感器技术可分为刚性传感器技术与柔性传感器技术。

在国外,智能服饰的发展比国内早。2006年,Liu et al^[1]开发了一种智能内衣,将一种可辨别生物讯号的传感器嵌入运动内衣中,完善了 Mann^[2]在1996年发明的感温智能服装原型。2012年,美国“第一次预警系统”公司研制出一套监测乳腺癌的智能文胸,其内部有温度传感器,可测量胸部的体温来判断是否存在肿瘤^[3]。2015年,Cyrcadia Health公司推出 iTBra 女式智能内衣,如图1所示,其核心技术是通过电子乳贴来监控胸部的体温和血流,并向使用者发送信息,让使用者可以在12 h内进行一次乳腺癌检查。美国一家公司于2016年推出 Ombra,它把一个感应器置于乳房皮肤表面,用于监控使用者的呼吸和心跳,并联动 APP 一起监控和评价使用者的身体状况。



图1 iTBra 女式智能内衣实物图

国内部分乳腺健康监测智能文胸的专利情况见表1。

目前的乳腺健康监测内衣大多是根据不同的乳房生理指标来评估乳房状况,主要监测温度、湿度、心率等指标,以及压力、血流、血氧、计步仪、超声波、频谱、微波、pH 值等。通过对已有的各种传感器的分布进行研究发现,目前传感器的分布形式多为网状、树枝状或分散状。传感器的基底类型主要有柔性和刚性两类,柔性基底包括纤维基底和硅胶等其他复合材料柔

性基底。在传感器的整合方式上,目前大多采取夹层或吸附粘贴的方式。近年来,随着研发人员对文胸智能化零件的拆解和文胸自身可水洗性的愈加关注,很多产品具有拆解后可水洗的功能。

本研究针对智能文胸市场进行调研,结果见表2。

目前市场上在售的智能文胸产品极少,销售的智能型胸罩产品有两大类型:智能推拿和运动监测;智能按摩胸罩主要通过振动、旋磁共振等方式对胸部进行按摩;运动内衣的心率检测传感器通常在鸡心位置植入。

在售商品中,运动监测胸罩的售价一般在300元左右,而按摩推拿类胸罩价格一般要高于3 000元,这与产品的开发和制造费用有关。在电源模式上,目前已有的多款智能胸罩选择充电模式;内衣同传感器的连接主要靠磁性结合,由无线发送监测数据,由手机进行控制。目前市面上所有的智能文胸都可以将传感器拆除后进行清洗。

1.2 柔性传感技术的发展现状

现阶段,智能内衣的传感器多是将已有的刚性传感器与内衣进行机械结合,服用性能较差,且容易产生位移,影响测量数据的准确性。柔性传感器因体积小、质量轻,以及具有良好的柔韧性、延展性,服用性能较好,柔性传感器的广泛使用已经成为未来的发展趋势。

梳理目前国内外对织物柔性温度传感器的应用实例,见表3。

涂敷法因为难以掌握沉积或印刷工艺的均匀性,会对镀膜的导电性产生一定的影响;因为导电性物质与面料的黏合强度而产生不耐摩擦、无法洗涤、重复性和耐用性较差的问题;涂料的延展性不好,会对面料的使用手感和性能造

成影响。封装法由于传感器与织物相互独立,易在使用过程中产生相对滑移的现象;导电材料和织物结构间存在滞后性,测量准确性会受到一定影响;同时为使织物能较为紧密地包裹传感器件,传感部位的拉伸性和柔韧性受限,会降低织物传感器的服用性能和舒适性。织入法工序繁琐,生产的时间成本较高;织造过程中纱线易发生断裂或损伤,影响织物传感器的传感性能;织物产生形变时造成纱线间相对滑移也会影响织物传感器的准确性。

2 乳腺健康监测智能内衣的设计需求

从智能内衣发展来看,乳腺健康监测智能内衣的设计需要基于乳腺癌相关医学理论,监测乳腺生理信号,如温度、湿度、血流量等。并且乳腺健康监测智能内衣的设计都要经过以下环节:数据的采集收集、储存分析、数据输出、反馈预警。

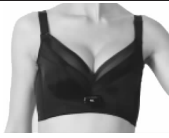
2.1 乳腺热传递与温度信号

人体正常乳房皮肤表面温度为34~35℃^[3],不同体质人群的温度略有差异,受体内病灶如肿瘤等影响,肿瘤越接近体表,乳房表面温度增长率越大;肿瘤半径越大,乳房表面温度增长率越大^[4]。几乎所有处于人体乳房部位的肿瘤都会对该部位的局部体温产生影响,导致乳房温度高于人体正常皮肤温度。同时值得注意的是,一般良性的人体肿瘤对温度的影响有升温范围较大而范围内体温温差较小的特点,据测量,其温度较正常人体的胸部温度平均高1.0℃。而恶性肿瘤却相反,其特点是高温范围较小、温差较大,据测量,最高温差能够超过3.1℃^[5]。在医学领域,人们将乳房划分为6个区域,如图2所示^[6]。有学者总结了女性乳房最易发生癌变的部位,如图3所示^[7]。

表1 国内乳腺健康监测文胸专利分类(部分)

功能分类	专利名称	公开年份/年	传感器类别	传感器基底	集成方式	拆卸	水洗
生理监测	一种可监测乳腺癌病变的内衣 ^[4]	2018	压力传感器、温度传感器	监测板	夹层	可拆卸	未说明
	乳腺癌检测内衣及检测系统 ^[5]	2018	柔性红外温度传感器	柔性材料	缝制埋设	不可拆	可水洗
	一种具有W形钢圈的乳腺检测内衣 ^[6]	2021	温度传感器	柔性电路板	嵌设	不可拆	未说明
	一种具有生物参数测量功能的乳腺癌智能监测内衣 ^[7]	2021	温湿度传感器	安装腔	封装	可拆卸	未说明
理疗护理	带智能按摩功能的文胸 ^[8]	2016	计步传感器、心率传感器、人体脂肪传感器	纺织面料	魔术贴或按扣	可拆卸	未说明
	一种乳腺护理文胸 ^[9]	2017	体温、心率、血氧传感器,生物电理疗装置	容置槽	磁吸	可拆卸	可水洗
	一种保健文胸 ^[10]	2017	温度传感器、湿度传感器、心率传感器	芯片	未说明	不可拆	未说明
	一种抗菌透气的穿戴式乳腺癌智能监测内衣 ^[11]	2021	温湿度传感器	柔性电路板	埋设	可拆卸	拆卸后可水洗

表2 智能内衣市场调研结果

指标	霏比品牌	诗慕小姐品牌	Lightness(莱特妮丝)品牌	Lightness 品牌	Lightness 品牌
价格/元	11 960	5 980	3 300	3 060	359
产品类别	按摩文胸	按摩文胸	按摩文胸	按摩文胸	运动监测
产品图示					
产品功能	物理按摩	按摩舒缓	生命光波共振促进循环	旋磁理疗、按摩保健	防震支撑、心率监测
文胸款式	U型	V型	V型	U型	U型
面里料组成	面里料均为81.7%锦纶、18.3%氨纶	面料为55.0%锦纶、45.0%氨纶;里料为100.0%棉	面里料均为74.0%聚酯纤维、26.0%棉	面料为78.2%锦纶、21.8%氨纶;里料为74.0%聚酯纤维、26.0%棉	面料为93.0%聚酯纤维、7.0%氨纶;里料为100.0%聚酯纤维
罩杯厚度	上薄下厚模杯	薄棉杯	中模杯	中模杯	薄模杯
罩杯款式	3/4罩杯	3/4罩杯	3/4罩杯	3/4罩杯	全罩杯
供电方式	充电	充电	无需	充电	电池
传感器类别	智能芯片	智能芯片	芯片	智能芯片	智能芯片
集成方式	磁吸连接	Lightning连接	胸垫插入	磁吸连接	磁吸连接
数据处理与反馈系统	无线传输、手机端控制	无线传输、手机端控制	无线传输、手机端控制	无线传输、手机端控制	无线传输、手机端控制
水洗	拆卸后仅文胸可洗	拆卸后仅文胸可洗	拆卸后仅文胸可洗	可拆可洗	拆卸后仅文胸可洗
来源	天猫	天猫	天猫	天猫	天猫

2.2 监测传感器元件

针对中低温区常见的温度监测传感器有热电偶、热电阻。制备感温内衣要求传感器测量精度高、性能稳定、舒适性强,因此偏向于选择延展性较好的金属热电阻。目前常用热电阻金属材料在常温下的基本物理参数见表4。

在感温内衣设计制备中,温度的连续监测非常重要,应选择具有适中温度系数的金属材料。在温度一定情况下,材料电阻(R)见式(1)。

$$R=\frac{\rho L}{S} \quad (1)$$

式中: ρ 为电阻率; L 为材料的长度; S 为材料的横截面积。

铂丝电阻因其适中的温度系数、较高的电阻率和在中低温范围内较稳定的性能,是上述感温金属材料中最适合应用于乳腺健康监测感温监测元件的热电阻。

2.3 设计元素

设计元素分为功能性与舒适性两部分。功能性主要是灵敏度、

表 3 柔性织物传感器制备方法

制备方法	制备原理	原料	操作流程	优点	参考文献
涂敷	将金属颗粒、碳基材料或高分子导电复合材料,通过沉积、印刷或拼贴等方式附着于织物表面,形成导电涂层织物	碳纳米管、无纺布	超声纳米焊接法涂覆,超声波清洗多余材料,在 60 ℃ 下干燥,得到真空压力传感器	压力线性敏感,测量范围宽,重复性良好,耐洗性良好,持久性良好,超疏水性能	[12]
		丝绸、氧化石墨烯	真空过滤法涂覆,环保热压法还原,制得石墨烯-丝绸织物应变传感器	应变性能优异,线性度好,循环稳定性好,舒适性良好,可防紫外线,具有疏水性能	[13]
封装	将已有的柔性复合材料温度传感器,通过缝合或埋夹等方式,固定在织物表面或特殊织造结构中,形成感温织物	电纺纳米纤维织物、聚偏氟乙烯-共六氟丙烯凝胶基质	将介质层夹入凝胶基质中形成柔性电容传感器,用热激活黏合衬传感器夹织物,制成电容式柔性织物压力传感器	灵敏度高,测量范围变大,响应时间改善,准确度改善	[14]
		碳纳米管、聚氨酯纳米纤维、镀镍棉纱	静电纺丝技术将 CNT 嵌入 PU 纤维,再包覆在镀镍棉纱电极上,得到可织芯鞘纳米纤维纱,用纱织造电阻式结构压力传感器	灵敏度高,传感范围广泛,可感知静态压力,可感知动态触觉压力	[15]
织入	将导电纱线直接进行织造,得到具有传感性能的导电梭织物或针织物	铂纤维、锦纶纤维	用锦纶包缠铂制成包芯纱,采用 1/3 斜纹组织织造梭织物温度传感器	提高构件承载力,提高构件伸长率	[16]
		铂纤维、涤棉、纯棉、羊毛、锦棉	选择铂纤维作为感温元件,将裸纤以添加经纬纱的形式与不同服用纱线结合织造柔性织物温度传感器	穿着舒适性良好,测量准确性良好,稳定性良好	[17]

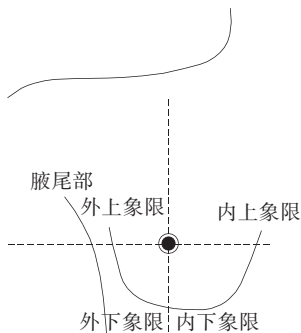


图 2 乳房象限分布图

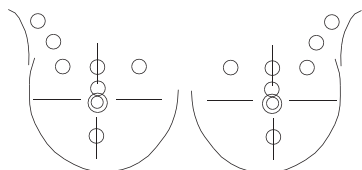


图 3 乳腺癌易发病部位分布图

准确性和稳定性。舒适性以接触舒适性、运动舒适性为主。设计元素及解决方案具体实施方法见表 5。

3 存在问题

虽然现阶段智能内衣研究领域已开始注重使用柔性传感器,但在面料或全面料上的使用却很少见,且柔性织物传感器的材料选择

表 4 常见感温金属材料基本物理参数

材料名称	电阻率/ ($\times 10^{-8} \Omega \cdot m$)	电阻温度系数 $\alpha_R / ^\circ C^{-1}$
铜	1.678	0.003 93(20.0 ℃)
铂	10.600	0.003 74(0~60.0 ℃)
钨	5.650	—
镍	6.840	0.006 90(0~100.0 ℃)
锰	185.000	—

以及制作方法上仍存在许多缺陷。

目前大部分专利都没有对人体的生理信号监测点进行准确定位,但以乳腺癌监测为基础的感温内衣,需要对温度监测点具有合理科学的选择,并且需要对温度监测位置和面积进行设计,尽可能缩小传感器体积,在提高文胸使用效果的同时,又能保证其测量的精确度。

智能内衣的商品化已成为一种趋势,但智能内衣特别是柔性温度传感器性能各方面的探索仍然局限于试验室的样品测试中,未在市场化的成衣市场中出现。综合市场调研结果,在进行感温内衣设计时,需要综合考虑成本

控制和市场售价,其大众化应用之路仍然任重道远。

国内外在智能服饰领域的研究尚未形成系统化、标准化的行业准则,从事智能服饰的科研工作者遍布各个研究领域。因此,智能服饰有关的问题还有待各个领域的专家们进行长期协作,从而制定出一个统一的行业标准。

4 结束语

综上,我国乳腺健康监测智能内衣发展趋势主要有以下 4 方面。

在时尚度方面,目前的智能内衣大多采用刚性传感器与常规内衣直接组合,因此传感器的体积大小与安装位置、内衣的款式材料等都会对人们的审美判断产生一定影响,因此应结合服装材料学和服装工效学相关知识,将传感器设置在合适的位置,确保监测准确性,同时实现智能内衣的时尚化改良。此外,关注智能内衣的面料和款式创新,实现其与人体的最佳匹配。

在舒适度方面,传感器、数据

表5 设计元素分析及解决方案

设计元素		元素需求	解决方案
功能性	敏感性	制备的感温内衣需要有良好的温度敏感性能,对温度变化反应灵敏	选择温度敏感性能较好的感温元件
	准确性	感温内衣在温度测量过程中需要保证温度监测点的位置不发生较大的偏移,测量位置较为准确,同时温度测量结果准确	优化感温内衣的结构设计,并对温度监测点进行设计说明;建立温度预测模型并进行验证和校准,提高测量结果的准确性;优化感温内衣结构设计和柔性传感器的位置大小设计,减小位移对温度监测的影响
	稳定性	感温内衣在使用过程中应具有良好的测量稳定性,在温度监测时能够保证稳定连续地监测	优化感温内衣传感器电路连接方式;优化感温内衣结构设计和柔性传感器位置大小设计,减小位移对温度监测影响
舒适性	接触舒适性	感温内衣与胸部皮肤直接接触,需要织物柔软、无刺挠不适感、结构服贴,内部无明显凸起、工艺结构设计合理、皮肤摩擦小	优化感温内衣结构设计,减少分割,使传感器尽量贴身,无褶皱
	运动舒适性	感温内衣在应用过程中可能受人体运动影响而损失测量准确性,但应避免人体自然活动对测量准确性的影响	优化感温内衣结构设计,使内衣贴身,减少内衣形变;优化感温内衣电路连接方式,减少呼吸等自然活动对传感器测量的影响

接收、处理、发射等设备的布置会对使用者的穿衣舒适性产生一定影响,因此应注意降低或排除设备运行过程中产生的热、电、磁等物理问题。将微电子技术与服装结构原理相融合,对监测元件与智能内衣的整合模式进行创新性研究。

在便利度方面,智能监测装置应易于拆解、方便穿戴和随身携带,让穿戴无压力、无负担,轻松方便。其次,智能化乳腺健康监测内衣应是可水洗的,而且要易于清洁,要增强内衣的耐用性能,并且要充分考虑监测装置的防水性能。

在信任度方面,智能内衣监测人体生理信号的可信性是关键,由于使用者长期在运动中,因此必须注意其对仪器稳定性的影响,保证资料的可靠性。通过对胸部各部位各种生理指标的采集,可以更加全面、准确地监测乳腺状况,从而实现乳腺疾病的早期诊断,为乳腺癌患者的健康管理提出更加科学的建议。并且因智能内衣贴身穿,要

要确保监测设备安全性和可靠性。

参考文献

- [1]LIU Y, SUN S. Smart sport underwear design[C]//The 7th International Conference on Computer-aided Industrial Design and Conceptual Design. Hangzhou, China: IEEE, 2006: 560-562.
- [2]MANN S. Wearable computing: toward humanistic intelligence[J]. IEEE Intelligent Systems, 2001, 16(3): 10-15.
- [3]王裕, 邓咏梅, 杨小渝. 乳腺监测智能内衣的研究现状与发展趋势[J]. 针织工业, 2018(5): 62-65.
- [4]陈露. 一种可监测乳腺癌病变的内衣: 中国, 201810406875.X [P]. 2018-09-28.
- [5]吴虹萱. 乳腺癌检测内衣及检测系统: 中国, 201810045619.2 [P]. 2018-05-22.
- [6]张朝雄. 一种具有W形钢圈的乳腺检测内衣: 中国, 202021085355.2 [P]. 2021-02-26.
- [7]陆培华, 朱达辉, 汤松, 等. 一种具有生物参数测量功能的乳腺癌智能监测内衣: 中国, 202111040975.3 [P]. 2021-12-10.

- [8]王卫东, 周赞, 蒋燕英, 等. 带智能按摩功能的文胸: 中国, 201620249874.5 [P]. 2016-09-07.
- [9]杭恒祥. 一种乳腺护理文胸: 中国, 201720256731.1 [P]. 2017-10-03.
- [10]李楠, 黄福藕, 谢国强. 一种保健文胸: 中国, 20161125453.4 [P]. 2017-05-10.
- [11]陆培华, 朱达辉, 孙洁, 等. 一种抗菌透气的穿戴式乳腺癌智能监测内衣: 中国, 202111044652.1 [P]. 2021-12-03.
- [12]TANG Z, YAO D, HU S, et al. Highly conductive, washable and super-hydrophobic wearable carbon nanotubes e-textile for vacuum pressure sensors [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2020, 303: 111710.
- [13]WANG S, NING H, HU N, et al. Environmentally-friendly and multifunctional graphene-silk fabric strain sensor for human-motion detection [J]. Advanced Materials Interfaces, 2020, 7(1): 1901507.
- [14]LI R, SI Y, ZHU Z, et al. Electrospun nanofabric based all-fabric ionic pressure sensor [C]//2017 19th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems. Kaohsiung, Taiwan of China: IEEE, 2017: 2215-2219.
- [15]QI K, WANG H, YOU X, et al. Core-sheath nanofiber yarn for textile pressure sensor with high pressure sensitivity and spatial tactile acuity [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2020, 561: 93-103.
- [16]YANG Q, WANG X, DING X, et al. Fabrication and characterization of wrapped metal yarns-based fabric temperature sensors [J]. Polymers, 2019, 11(10): 1549.
- [17]孙嘉琪. 基于乳腺癌风险监测的柔性温度传感器设计研究 [D]. 上海: 东华大学, 2021.

收稿日期 2023年8月2日