

DOI:10.13475/j.fzxb.20140400707

# 可穿戴医疗监护服装研究现状与发展趋势

严妮妮<sup>1,2</sup>, 张辉<sup>1</sup>, 邓咏梅<sup>2</sup>

(1. 浙江纺织服装职业技术学院 纺织学院, 浙江 宁波 315211;

2. 西安工程大学 服装与艺术设计学院, 陕西 西安 710048)

**摘要** 可穿戴医疗监护服装可低负荷、长期连续地获取丰富的人体生理信息,从而达到疾病提前预防及治疗的目的。综述了医疗监护服装系统构成、监护服装设计等方面的研究现状;介绍了医疗监护服装系统的核心技术——穿戴式人体生理信号检测技术、传感技术、电子器件与服装连接技术、信号处理及系统通讯等技术,并分析了其医学应用;总结及预测了可穿戴医疗监护服装在设计研究和应用中还有待解决的问题,并展望了其发展前景。

**关键词** 可穿戴技术; 监护服装; 服装设计; 智能服装

中图分类号:R 443.8 文献标志码:A

## Research progress and development trend of wearable medical monitoring clothing

YAN Nini<sup>1,2</sup>, ZHANG Hui<sup>1</sup>, DENG Yongmei<sup>2</sup>

(1. School of Textiles, Zhejiang Fashion Institute of Technology, Ningbo, Zhejiang 315211, China;

2. Apparel & Art Design College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract** Wearable medical monitoring clothing can continuously acquire human physiological information with low load for long term, so as to achieve the purpose of early disease prevention and treatment. In this paper, the research progress of wearable medical monitoring clothing components and design of medical monitoring clothing system are reviewed. The key technologies such as wearable human physiological signal detection technology, sensing technology, integration technology of electronics and clothing, signal processing and communication system are introduced. Meanwhile, the medical applications are also introduced. Finally the main problems of wearable medical system are also analyzed and listed.

**Keywords** wearable technology; medical monitoring clothing; clothing design; intelligent clothing

随着社会的发展,老龄化成为一个全球性的问题,由此而带来的老年医疗健康问题,成为社会关注的重点,这些疾病随着人们生活方式的改变、环境的影响、专业医疗服务能力的相对薄弱而变愈加严重。这就势必要求未来的医疗从医院诊疗向健康监护预防转变<sup>[1-2]</sup>。医疗模式从诊断治疗向日常监护转变的同时将促使小型医疗监护设备的出现,这些监护

设备具有日常家庭使用的特点,即可穿戴医疗监护设备(Wearable Medical Devices)或称为便携式医疗设备(Portable Medical Devices)<sup>[3]</sup>。

穿戴式医疗监护设备是指将医疗监测系统集成在可穿戴系统上,即主要通过服装及其附件而依附在人体上,既能实现穿戴物品的日常使用功能,又能实现人体生理信号的监测,从而达到生理信息监护

收稿日期:2014-04-02 修回日期:2014-10-16

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(51303157);宁波自然科学基金资助项目(2013A610079);宁波市创新团队资助项目(2012B82014);西安工程大学博士科研启动基金项目(BS0907)

作者简介:严妮妮(1989—)女,硕士生。主要研究方向为服装功能性与舒适性。张辉,通信作者,E-mail:zhanghuinb@gmail.com。

与人体日常穿戴衣物、附件的无缝整合。多个研究小组通过将人体生理信号采集传感器或者电极整合在可穿戴物件上,如衣服、腰带、手表、手环、项链等,以获取人体心电、呼吸、体温、血压、血氧、人体运动状态等重要生理参数<sup>[4-6]</sup>。而衣服作为与人体接触最为密切的媒介,具有多个优势,譬如舒适、轻薄、移动性好、不具有视觉、接触以及心理的排斥感,而且是日常必备物件,具有低生理、心理负荷的特点,是实现人体信号采集的最佳平台。其大面积与人体接触的特点也为获取丰富的人体生理参数提供了可能。同时,其数据采集模式不会影响穿着者的日常活动,能够实现在线连续监测,所以,服装已成为可穿戴医疗监护设备的最佳载体之一<sup>[7]</sup>。2014年美国消费电子展(CES)上,可穿戴医疗产品成为本届大会主角之一,众多企业展示自己的最新产品。据预计,到2018年该市场规模将增长3倍。医疗健康领域呈现3大亮点:用于健身的可穿戴技术;社区家庭养老技术;实时监测技术。这些技术可帮助解决人口老龄化带来的各种问题,促进健康医疗向以消费者为中心的数字化转型<sup>[8]</sup>。

## 1 穿戴医疗系统及发展现状

通讯技术、电子技术、计算机技术、传感技术、电源系统、存储技术以及材料技术的迅猛发展为可穿戴家庭及个人医疗监护系统(Wearable Health Monitoring Systems)的发展提供了诸多可能,也成为国内外研究小组的研究热点<sup>[9-11]</sup>。

穿戴式人体生理参数监测系统由以下功能模块组成:穿戴式生理参数传感(电极)系统、信号显示与存储系统、信号传输系统、电源系统、远程信息交互系统等。其中集成了生理信号获取及传输系统的一体系统,实现了可穿戴医疗监护信息的远程化可能,能够达到与远程终端有线或者无线的信号传输<sup>[12]</sup>。可穿戴医疗监护服装系统涵盖了人体生理信号检测技术、传感技术、传感器件与服装集成技术、信号处理及系统通讯技术等技术模块,是一门多学科交叉的技术领域。

### 1.1 穿戴式人体生理信号及检测技术

心电、呼吸、体温是人体生命体征的3大重要信号,在人体生理监护中有极其重要的参考价值。准确掌握生命体征的测量对确立护理诊断、明确护理目标、为病人提供及时的护理服务具有十分重要的意义。可穿戴监护服装将人体生理信号检测技术与

可穿戴服装技术结合,通过在服装中整合传感器与电极等器件,以实现生理信号检测的目的。随着市场的需求及技术的发展,可穿戴医疗信息检测将通过与日常用品的集成而实现家庭化、个人化,而其核心技术也将逐渐标准化、智能化、小型化、多功能化和远程化<sup>[13]</sup>。

#### 1.1.1 心电信号

心电图(ECG)是反映心脏机能的一项重要生理指标。心电信号是心脏心肌电位随时间的变化曲线,由于人体系统为导体,所以,通过使用放置于人体皮肤表面的电极,就可将心肌生物电位变化曲线记录下来,即为心电图<sup>[14]</sup>。电极就成为将人体心脏产生的离子导电转化为可用于外部检测的电子导电器件。分析心电信号的时序和形态可帮助诊断心脏问题。由于ECG信号属于低频低电压信号,信号微弱,而且易受到外界因素的干扰,影响ECG信号的提取。其干扰因素包括人体本身原因(如肌肉电干扰,运动干扰)、电极方面的影响(包括电极表面电解质状态,接触可靠性)以及外部的电磁波干扰等<sup>[14-15]</sup>。由于心电信号为矢量信号,因此,电极在人体表面的放置位置就显得至关重要,将会影响心电信号的形状。医学上通常采用标准12导联连接模式,可从不同角度反映心脏活动状况;而用于家庭及个人的便携式心电监护仪一般采用3导联或5导联就能够满足基本的心电测量,也适合日常使用,便携式三导联心电监测方法如图1所示。心电信号采集常使用传统粘胶式一次性心电电极(Disposable Electrode),这种电极为降低与皮肤之间的阻抗而使用了导电胶,同时,为避免电极与皮肤之间的相对位移,在电极的边缘使用了粘胶,这种方式很易造成皮肤过敏并且降低了电极使用的舒适性,因此,很难做到日常化使用。穿戴式生理监测系统要融入人们的日常生活,就必须采取无创的方式来获取人体生理信号。近几年,许多科研机构已经集中在研究纺织结构柔性电极。纺织结构电极具有纺织品的柔软性、舒适性、轻薄透气性以及可水洗和循环使用的优点,而且更易实现与服装的结合<sup>[16-18]</sup>。

#### 1.1.2 呼吸频率

呼吸频率是指人体在一定时间内的吸气与呼气次数,它是人体体征的一个重要指标,可反映多项重要生理信息,是人体3大重要生理参数之一。一个完整呼吸循环可通过人体胸腔的容积变化来判断。呼吸频率目前的监测方法有口鼻气流测试法、电阻抗体积扫描法、应变式传感器(压力传感器)测量法、呼吸

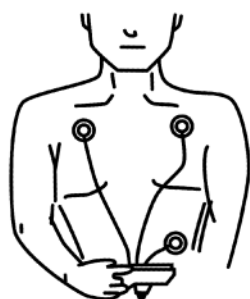


图 1 便携式三导联心电图检测

Fig.1 Portable three-lead ECG detected

感应体积扫描法等<sup>[19-21]</sup>。口鼻气流测量是将温度传感器放置于呼吸管道上,人体呼、吸气时产生的温度变化会引起传感器的电阻变化,用热敏电阻式传感器采样信号的原理来测试(见图 2(a))。阻抗体积扫描法是指通过测试放置于胸腔区域的 2~4 个电极之间的人体阻抗随呼吸过程的变化来反映人体的胸腔变化,从而测试呼吸频率(气体是电的不良导体,它会增加人体阻抗)(见图 2(b))。应变式传感器(压力传感器)的测试原理是随着呼气、吸气的周期性变换,会产生呼吸道以及胸腹部的周期性应变,利用应变传感器来记录胸腹表面的应变变量,以此来测定呼吸频率(见图 2(c))呼吸感应体积扫描法则采用电磁感应的机制来反映呼吸变化,其原理是将 2 条呈“正弦”波形的导线放置于具有弹性服装的胸前及腹部,采用 Collpitts 三点式震荡电容电路,测量导线线圈横截面的变化而引起线路的自感变化(见图 2(d)),从而得到呼吸频率。以上 4 种方法中,口鼻气流测量时传感器需要放在鼻口,不易佩戴,也不易于集成在服装中;阻抗体积扫描法不适合动态条件下持续测量,易引入运动伪迹;应变式传感器和电感体积扫描法相对具有能够获取定量信息、灵敏准确、抗运动干扰能力强、易于使用和低负荷等优点,适合动态持续使用,是开发可穿戴呼吸监测系统的优选方法。但是呼吸感应体积扫描法具有与其他检测量,诸如心电图测试相互干扰的缺点。

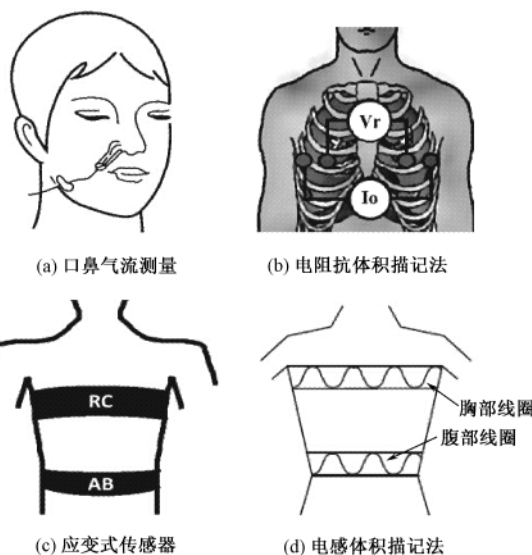


图 2 呼吸频率检测方法

Fig.2 Detection method of respiratory rate. (a) Oronasal airflow measurements; (b) Electrical impedance plethysmograph; (c) Strain sensor; (d) Inductive plethysmography

### 1.1.3 体温

恒定的体温是人体正常生命活动的重要条件之一,体温过高或过低都会危及生命,因此体温在临床上也是一个极为重要的生理参数。体温测量常用诸如热电偶、热敏电阻、RTD、IC 温度等传感器,通过直接测量口腔、腋下、直肠和耳朵等部位来测试温度。温度传感器的集成技术目前比较先进,穿戴式体温传感器一般采用热敏电阻。考虑到既要便于与服装集成,又不影响穿着者日常活动,还能保证服装的美观性,因此,将温度传感器集成在服装的腋窝处是最佳的选择。

可穿戴医疗监护服装系统采用三导联心电图检测即可满足基本的心电测量;胸腹呼吸频率监测有助于监测呼吸系统及人体机能;热敏电阻测量体表温度可完美地与服装集成,常用的传感器及电极如图 3 和表 1 所示<sup>[19,22]</sup>。

表 1 测量的人体生理信息及所用的传感器

Tab.1 Measurement of human physiological information and used sensor

人体生理信息	生理信息测量范围(主要测量范围)	信号频率范围/Hz	使用的标准传感器或方法
心电信号	0.5~4 mV(10 μV~5 mV)	0.01~250(1~100)	皮肤电极
呼吸频率	2~50 次/min(8~10 次/min)	0.1~10	胸部应变仪、阻抗、鼻热敏电阻、感应体积描记
体温	32~42 ℃	直流~0.1	热敏电阻、热电偶

## 1.2 传感及电极技术

医学用传感器是将人体生理信号转换为可用于

测量电信号的装置<sup>[19]</sup>,生理信号与测试得到的电信号之间的关系由传感器的特性决定。传感器与电极

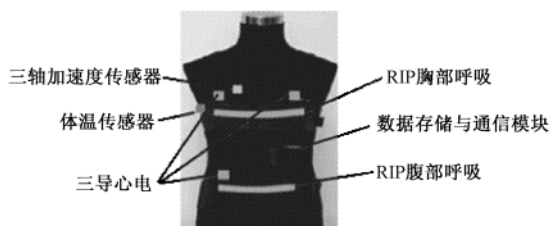


图3 穿戴式生理参数传感系统

Fig.3 Wearable physiological parameters sensing system

是医学材料的核心部件,它为医学诊断、治疗提供原始数据。传感器的发展随着科技的进展而突飞猛进,其发展也将逐渐小型化、智能化、多功能化、远程化以及无创伤等<sup>[23]</sup>。目前可穿戴医疗监护服装上大都采用新型材料传感器,复合结构封装微型传感器以及集信号采集与传输一体的集成传感器。用于医疗服装系统的电极、传感器应该具有柔性高和体积质量小的特点,最好呈纺织结构,这样便于与服装系统结合。因此,器件的微型化和柔性化发展也备受关注,发展的最终目标就是智能服装,即服装自身具有传感功能。目前国内已有多个从事智能纺织结构电极与传感器的研究<sup>[24-26]</sup>,纺织结构电极和传感器穿着舒适,能够保证长时间测试的需要,也可很好地与服装集成。随着材料科技的发展,纺织结构可穿着的穿戴式系统将是可穿戴医疗监护系统的主要发展方向。诸如EAP(电话性聚合物,Electroactive Polymers)有机材料,具有对外界电刺激表现出尺寸变化的特性,以其为材料而制得的相应传感器或者电子器件,可用于穿戴系统中<sup>[27]</sup>。表2列出了电子织物可监测的主要生理信号或变量,监测所需的传感装置和电子织物中的执行元件。从表2中可看出,采用EAP材料的纺织纤维可制作压阻和压电传感器等装置,用来监测人体多个生理信号或变量。

表2 电子织物可监测执行元件

Tab.2 Monitoring in e-textile with their fabric implementation

生理信号或变量	传感装置	电子织物
心电信号	生物电极	可编织的金属电极
肌电信号	生物电极	可编织的金属电极
颈动脉和动脉处的脉搏	压电传感器	基于EAP的纺织纤维
心尖脉搏	压电传感器	基于EAP的纺织纤维
呼吸信号	压阻传感器	基于EAP的纺织纤维
连接关节的运动和位置	压阻传感器	基于EAP的纺织纤维
皮肤电阻抗	生物电极	可编织的金属电极
血氧饱和度	光纤	光纤
声音	压电传感器	基于EAP的纺织纤维
皮肤温度	热敏电阻传感器	基于EAP的纺织纤维

### 1.3 电子器件与服装集成技术

医疗监护服装是信息化和服装相结合的产品,怎样实现电子器件与服装的无缝结合是迄今为止服装设计领域面临的重大难题<sup>[28]</sup>。由于目前电子器件的微型化和柔性化工艺不能够让人无法察觉,因此作为服装的一部分,必须考虑其服装的特性,尽量减少连线,合理优化布局,避免造成穿着者负担。心电、呼吸频率、温度等传感器应根据生理信号的检测原理准确放置于人体相应的检测位置上,信息处理模块在设计和放置时应考虑人体的可穿戴面积,选择成年人体之间差异不大、运动时相对固定及承载表面积较大的区域,尽量减少用户负担。

柔性连接将成为可穿戴系统需要继续解决的问题之一,由于电极器件与柔性面料之间的刚度、材料性质差异,将造成连接之间的难题<sup>[29]</sup>。只有将服装和电子器件模块进行有效连接,才能实现功能服装应该具有的功能。焊接、订合、黏合、缝合、可拆卸等方式都能够实现电子器件与服装之间的链接。但采用拆卸式是目前刚性电子器件模块和柔性服装之间较为理想的连接方式,通过可拆卸的外部连接,能够保证服装的穿着舒适性、连接可靠性及可洗涤等性能。一般常采用附加袋、拉链、纽扣、挂钩、搭扣等来实现,既能够保证监护服装的柔软舒适性,又能保证服装的耐用性。目前应用较多的可拆卸方式则是通过内置有接口的按钮来实现连接,该方式连接牢固、不影响穿用、可拆卸、美观大方。

电子器件与服装之间的信号传输也是可穿戴电子服装发展的一个挑战和难点<sup>[30-32]</sup>。电子器件与服装之间的信号常采用有线与无线的模式来实现传输,由于信号干扰及电源续航原因,无线传输还没有得到广泛应用,从而使得有线传输造成对人体日常活动的干扰,一方面其质量和形状会对人体活动造成一定的束缚,另一方面人体活动会挤压、拉扯、扭曲导线,造成信号检测的不稳定性。目前有以下5种解决方法:1)将功能模块的电子芯片通过纺织的方法置于面料内部;2)将电子元件与高分子材料进行柔性集成,然后与面料进行复合,从而实现集成的功能;3)通过微型电子嵌入式技术,将电子元件直接嵌入到面料中;4)采用纤维基的电子芯片包裹技术,实现电子元件的纤维基封装,实现功能化电子纤维;5)采用面料复合技术,诸如涂层、层合、印花等技术实现功能化,达到信息的采集、传输等功能<sup>[33]</sup>。随着科技的发展,电极或传感器与服装连接技术的微型化、集成化和无线化发展能够很好的解决

上述关键技术问题。

#### 1.4 信号处理及系统通信技术

生理信号处理是监护服装的核心功能之一。具体是把传感器得到的生理信号经过数字化、转换、选择、分类整理等步骤转换成能够显示的信号,信号处理过程如图 4 所示。处理过的信号再经有线或无线(蓝牙、红外、RF 射频、GPRS 及类似的 CDMA)传输到移动设备或者电脑等移动设备上<sup>[33-34]</sup>,其中掌上电脑和个人数字助理(PDA)是 2 种最流行的信号处理器。

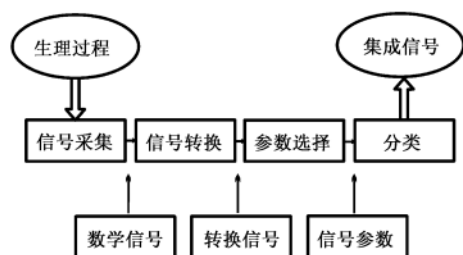


图 4 监护服装信息处理过程

Fig. 4 Monitoring garment information processing

随着计算机技术的发展,监测系统的数据传输也将逐渐无线化和集成化。集成于服装上的各种传感器及电极,如果采用无线信号传输,将极大地减少导线的使用,而且对信号端口进行集中整合,使得测试更加方便、灵活,而且端口还可进行扩展,为以后的功能添加提供可能。

## 2 监护服装设计现状及存在问题

目前国内外对于穿戴式监护服装的研究主要还处于实验室阶段,大多数监护服装的研究都是将传感器与服装“机械”地结合起来,实现服装在线连续监测、分析、处理及显示人体生理信息的功能。整个穿戴监护由于其器件选用、联接方式、电源等原因,还呈现出庞大、功能差、用户体验差、消费者接受度低、价格高等缺点<sup>[35]</sup>。还不能够改变人们传统的穿戴观念,应用范围也因此受到很大限制。该研究领域还没有系统化和标准化,研究人员来自不同的专业领域,在电子工程、医学及材料等方面的研究较多,因此,在服装方面,对于监护系统的穿戴性能研究方面还存在一定的不足,这就需要相关领域专家的长期配合才能形成统一的认识规律。而且医疗监护服装的功能、安全性等综合性能的评估还不够完善,还要经过很多的临床实验验证,才能确定是否能够按照一般的医疗仪器标准来评价。随着医疗服装

的商业化发展,普通家庭的健康监护必定会成为主流趋势。因此,医疗监护服装设计应该面向普通消费者的日常需求,并考虑人体工学、服装舒适性、安全性、美观性等因素,完善并评估监护服装的设计<sup>[36]</sup>。虽然产品已经相对成熟,但仍有以下问题亟待解决:

1) 可穿戴性能。包括服装的外观、整体的重量和分布、是否易于穿脱及舒适、监测时的抗干扰能力等,会影响穿着者长期穿着的舒适性和耐疲劳程度。

2) 测试可靠性。由于服装监护系统具有长时间动态性的特点,因此必须考虑日常活动对系统稳定性的影响,以保证信号测试的可靠性。

3) 耐久性(服用性能)。集成了电子设备的监护服装需要具备一定的物理性能,如耐水洗性、抗弯曲、拉伸、撕裂、耐磨、防水和吸湿透气等服用性能,以应对不同的环境。

4) 安全性。由于可穿戴医疗监护服装是长期穿着、与人体近距离接触的电子产品,因此必须对电磁辐射及热量等因素对人体造成的危害进行评估,并采取相应的防护措施。

5) 美观性。包括服装结构和外观设计是否能够被消费者所接受并且具有一定的美感等。传感器与服装相结合会影响服装整体的效果,因此,将传感元件合理分布,达到服装设计的美感将是服装设计领域应进一步思考的方向。

## 3 前景展望

传感器与服装结合的医疗监护服装是多学科交叉的产品,主要涉及电子信息、人体功效、材料学、工业设计和服装设计等领域,需要由这方面的研究专家共同合作来完成。服装设计师最终要完成生理信号采集的传感器与服装的结合,因此,在服装的外观和结构设计方面具有创新性。监护服装设计人体工学方面的考虑主要是要保证动态条件下传感器在服装中的位置尽量不要移动、服装上的传感器要与皮肤合理接触以及传感器在服装中的集成技术研究<sup>[37]</sup>。可穿戴医疗监护服装发展前景如下:

1) 基于人体工效学的服装款式及结构设计研究。电极及传感器的柔性化发展为医疗监护服装的发展提供了可能。然而,人体日常生活会产生肢体移动,造成柔性电极、传感器与服装相对位置移动和接触压力的变化,这种变化将会影响到信息的检测和判断以及穿着时的舒适性。因此,应加快对监护

服装与皮肤之间的动态作用研究,提高监护服装的可靠性及穿着舒适性,实现医疗监护服装的实际应用价值。

2) 三维人体扫描及监护服的量身定制。人体生理信息监测时要求传感器要与人体有很好的接触,这就要求集成了传感器的医疗监护服装必须是量身裁剪的,否则将达不到监护服应具有的功能。因此,必须加快对人体三维扫描系统的研究,建立人体三维形态数据库,实现监护服的量身定制。

3) 纺织传感器。目前可穿戴医疗监护设备上使用的传感器大都采用传统传感器与服装的简单物理结合,没有实现结构的集成,采用纺织结构传感器将实现服装功能与传感功能的一体化。

4) 服装加工技术。目前的监护服中由于集成了复杂的电子模块,还只能在实验室中加工实现,如何能实现监护服装量产,将是未来商业化发展的关键问题。在服装加工技术上,既要考虑服装的一般要求,又要考虑采用不同的方法来实现服装作为一个特殊的硬件平台,为硬件提供一个好的集成环境,同时又不破坏织物的一些基本性能。

5) 织物结构电路。可穿戴医疗监护服装的最佳模式是既实现穿戴功能,又实现医疗监护功能,即纺织品自身具有传感功能,也就是我们所称的纺织结构传感器或者电极。所以,将集成电路纺织化将成为智能纺织发展的一个重要方向,也为可穿戴医疗提供了可能,同时,未来将尝试将电源、信号处理元件与显示元件的纺织化,实现了电子元件与服装系统的完美整合。

FZXB

#### 参考文献:

- [ 1 ] Online Computer Library Cente, Inc. History of OCLC[EB/OL]. [2014 - 10 - 08]. <http://www.tech-ex.com/equipment/medical/news/0364102>.
- [ 2 ] 滕晓菲,张元亭. 移动医疗:穿戴式医疗仪器的发展趋势[J]. 中国医疗器械杂志,2006,30(5):330 - 340.  
TENG Xiaofei, ZHANG Yuanting. Mobile medical treatment: the development trend of wearable medical instrument [ J ]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2006, 30 ( 5 ) : 330 - 340.
- [ 3 ] SALDITT P. Trends in medical device design and manufacturing[J]. Journal of SMT,2004,17(3):19 - 24.
- [ 4 ] FENSLI R, GNNARSON E, HEJLESEN O. A wireless ECG system for continuous event recording andcommunication to a clinical alarm station[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc,2004(3):2208 - 2211.
- [ 5 ] MARTIN T, JOVANOV E, RASKOVIC D. Issues in wearable computing for medical monitoring applications: a case study of a wearable ECG monitoring device[J]. ISWC, 2000(5):43 - 49.
- [ 6 ] PARK S, JAYARAMAN S. Enhancing the quality of life through wearable technology[J]. IEEE-EMBM, 2000, 22(3):41 - 48.
- [ 7 ] 鲍淑娣,张元亭. 远程医疗:穿戴式生物医疗仪器[J]. 中国医疗器械信息,2004(5):13 - 47.  
BAO Shudi,ZHANG Yuanting. Telemedicine: wearable biomedical devices [ J ]. Chinese Medical Devices Information,2004(5):13 - 47.
- [ 8 ] Online Computer Library Cente, Inc. History of OCLC[EB/OL]. [2014 - 10 - 08]. <http://news.he3i.cn/art/201401/28266.htm>.
- [ 9 ] PANTELOPOULOS A, BOURBAKIS N G. A Survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis [ J ]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics: Part C: Applications and Reviews, 2001, 40(1): 1 - 12.
- [ 10 ] HABETHA J. The My Heart project - fighting cardiovascular diseases by prevention and early diagnosis[C]//The 28th Annual International Conference of the IEEE EMBS,2006:6746 - 6749.
- [ 11 ] HEILMAN K J, PORGES S W. Accuracy of the Lifeshirt ( vivometrics ) in the detection of cardiac rhythms[J]. Biol Psychol, 2007(3) :300 - 305.
- [ 12 ] 黄家祺,卢家宾. 穿戴式监护仪概述[J]. 科技资讯, 2012,22: 248 - 250.  
HUANG Jiaqi, LU Jiabin. Summary of the wearable Monitor [ J ]. Science and Technology Information, 2012, 22:248 - 250.
- [ 13 ] 汪朝红,吴凯,吴效明. 穿戴式生理检测技术的研究及应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复,2007, 22:4384 - 4387.  
WANG Chaohong, WU Kai, WU Xiaoming. Research and application of wearable physiological detection technology [ J ]. Chinese Journal of the Tissue Engineering Research, 2007,22: 4384 - 4387.
- [ 14 ] 蔡建新,张唯真. 生物医学电子学[M]. 北京:北京大学出版社,1997: 8.  
CAI Jianxin, ZHANG Weizhen. Biomedical Electronics [ M ]. Beijing: Peking University Press, 1997: 8.
- [ 15 ] 武文君. 多参数监护仪质量控制检测技术[M]. 北京:中国计量出版社,2010: 14 - 29.  
WU Wenjun. Multi-Parameter Monitor Quality Control Testing Technology [ M ]. Beijing: China Metrology Press,2010: 14 - 29.
- [ 16 ] 郭劲松,邓亲恺. 可穿戴式心电呼吸传感器与检测系统的研制[J]. 中国医疗器械杂志,2006(5):341 - 344.  
GUO Jinsong, DENG Qinkai. The design of a wearable



- ECG and respiration sensor vest and its monitoring system[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2006(5):341-344.
- [17] 刘光达,郭维,李肃义,等. 穿戴式人体参数连续监测系统[J]. 吉林大学学报,2011(3):771-775.  
LIU Guangda, GUO WEI, LI Suyi, et al. Wearable system for continuously physiological parameters monitoring [J]. Journal of Jilin University, 2011(3): 771-775.
- [18] 翟红艺,王春民,张晶,等. 基于织物电极的心电监测系统[J]. 吉林大学学报,2012,30(2):186-192.  
ZHAI Hongyi, WANG Chunmin, ZHANG Jing, et al. ECG monitoring system based on textile electrodes [J]. Journal of Jilin University, 2012,30(2):186-192.
- [19] 王明时,关晓光,张春文. 医用传感器与人体信息检测[M]. 天津:天津科学技术出版社,1987:2-3.  
WANG Mingshi, GUAN Xiaoguang, ZHANG Chunwen. Medical Sensors and Human Information Detection [M] Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1987; 2-3.
- [20] ANNALISA B, DANILO D R. Wearable Monitoring Systems[M]. New York: Verlag Inc,2010:3-10.
- [21] 张政波,毕亚琼,俞梦孙,等. 穿戴式呼吸感应体积描记用于睡眠呼吸事件检测[J]. 生物医学工程学杂志,2008(2):318-322.  
ZHANG Zhengbo, BI Yaqiong, YU Mengsun, et al. Detecting sleep apnea/hypopnea events with a wearable respiratory inductive plethysmograph system[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2008(2):318-322.
- [22] 张政波,俞梦孙,赵显亮,等. 穿戴式多参数协同监测系统设计[J]. 航天医学与医学工程,2008,21(2):66-69.  
ZHANG Zhengbo, YU Mengsun, ZHAO Xianliang, et al. Collaborative wearable multi-parameter monitoring system design [J]. Journal of Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2008,21(2):66-69.
- [23] 王明时,高伟,李宁,等. 医用传感器的发展[J]. 中国生物医学工程学报,2005(6):668-671.  
WANG Mingshi, GAO Wei, LI Ning, et al. Development of medical sensor [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering,2005(6):668-671.
- [24] ZHANG Hui, TAO Xiaoming. A single-layer stitched electrotextile as flexible pressure mapping sensor[J]. Journal of The Textile Institute,2013,103(11):1151-1159.
- [25] ZHANG Hui,TAO Xiaoming. From wearable to aware: Intrinsically conductive electrotextiles for human strain/stress sensing[J]. IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI), 2012(2):468-471.
- [26] ZHANG Hui, TAO Xiaoming,LI Weiru, et al. Textile-structured human body surface biopotential signal acquisition electrode [J]. IEEE 4th International Congress on Image and Signal Processing, 2011(6):2792-2797.
- [27] CARPI F, ROSSI D D. Electroactive polymer-based devices for e-textiles in biomedicine[J]. IEEE Trans on Information Technology in iomedicine, 2005,9(3):295-318.
- [28] MARTIN T, JONES M, JOSH E, et al. Towards a design fame work for wearable electronic textiles [J]. ISWC, 2003(11):1-11.
- [29] 张龙女,王云仪. 电子服装技术的特点和发展趋势[J]. 纺织导报,2013(1):92-93.  
ZHANG Longnv, WANG Yunyu. Characteristics and trends in electronics clothing technology [J]. China Textile Leader, 2013(1):92-93.
- [30] 肖红,周宏. 信息化服装关键技术及其实现途径探讨[C]//第八届功能性纺织品及纳米技术研讨会论文集. 北京:北京纺织工程学会,2008:4.  
XIAO Hong, ZHOU Hong. Apparel critical information technology and its implementation approaches [C]//The 8th Conference on Functional Textiles and Annometer Technology. Beijing: Beijing Institute of Textile Engineering, 2008:4.
- [31] ADHAN W. IT evolution at infineon[J]. Textile Month, 2002(7):24-25.
- [32] 常丽霞. 电子服装的研究与发展[J]. 针织工业, 2005(1):53-56  
CHANG Lixia. Research and development of electronic clothing [J]. Knitting Industries, 2005(1):53-56.
- [33] 巩继贤. 智能服装的现状 & 展望[J]. 现代纺织技术, 2004(1):47-49.  
GONG Jixian. The present situation and outlook of smart clothing[J]. Advanced Textile Technology, 2004(1):47-49.
- [34] BARRY G. SILVERMAN, AHLESHA J, et al. Intelligent Paradigms for Healthcare Enterprises : Systems Thinking [M]. Netherlands: Springer-verlag Berlin and Heidelberg, 2005:35-50.
- [35] 肖居霞. 智能服装: 21 世纪服装行业发展引擎[J]. 陕西纺织,2003(3):25-26  
XIAO Juxia. Smart clothing: the engine of clothing industry development in 21st century [J]. Shanxi Textile, 2003(3):25-26.
- [36] 田苗,李俊. 智能服装的设计模式与发展趋势[J]. 纺织学报,2014,35(2):109-115.  
TIAN Miao, LI Jun. Design pattern and development trend of intelligent clothing [J]. Journal of Textile Research, 2014,35(2):109-115.
- [37] DUNNE L E. The design of wearable technology: addressing the human-device interface through functional apparel design [D]. Ithaca: Cornell University, 2004:25-38.