

의복형 생체신호 모니터링을 이용한 건강증진 시스템

김준수¹, 이가영¹, 유철승², 김태웅³, 이상훈², 김희철³

¹인제대학교 의과대학 부산백병원 가정의학과교실, ²인제대학교 컴퓨터응용과학부, ³인제대학교 컴퓨터공학부

Wearable Physiologic Monitoring System in Health Promotion

Jun-Su Kim¹, Kayoung Lee¹, Cheol Seung Yoo², Tae-Woong Kim³, Sang Hoon Yi², Hee-Cheol Kim³

¹Department of Family Medicine, Busan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Busan, ²School of Computer Aided Science & Institute of Basic Science, Inje University, Gimhae, ³School of Computer Engineering & Ubiquitous Healthcare Research Center, Inje University, Gimhae, Korea

With the development of body sensor technology, wearable health monitoring systems have been an emerging information technology in the 'ubiquitous health care' system. Wearable sensors enable long-term continuous physiological monitoring important in health promotion and management of many chronic disorders. In this paper, we present several wearable health monitoring systems developed by different countries and discuss emerging opportunities, as well as, existing challenges such as standardization, administration, validation, and discrepancy issues between technology and clinical implication.

Korean J Health Promot 2011;11(1):1-8

Keywords: Physiologic monitoring, Telemedicine, Health promotion

서 론

21세기 들어 디지털 혁명이 진행 중이다. 이에 의료 분야도 예외가 아닌데, 소위 Ubiquitous health (U-health)라는 영역에 대한 새로운 시도들이 진행 중이다. U-health란 건강 회복, 유지 및 증진을 위하여 언제 어디서나 이용할 수 있도록 정보통신기술을 토대로 제공되는 보건 의료 서비스를 의미한다. 최근에는 인구 노령화, 만성퇴행성 질환 및 의료비 증가 등의 사회 환경변화에 따라 '치료 중심의 의학'보다 '예방 중심의 의학'의 중요성이 부각되면서 가정에서도 쉽게 건강상태를 측정하여 적절한 건강서비스를 제공 받는 형태의 원격의료를 포함한 U-health 영역에 대한 요구가 높아졌다.¹⁾ 이러한 U-health는 기존의

의료서비스에 비해 시간과 장소에 구애 받지 않고, 예방 중심의 서비스를 제공할 수 있다는 특징을 갖고 있는데, 비교적 가볍고 조그마한 장비로 생체신호를 수집하여 분석하는 유비쿼터스 모니터링기술이 그 핵심이라 하겠다 (Table 1). 최근에는 나노 기술 및 마이크로 메카트로닉스 (micro-mechatronics) 기술을 이용한 착용할 수 있는 간편한 측정기술이 U-health의 큰 축을 차지하고 있는데, 이러한 기술의 임상적 응용의 예는 아직 실험 중이기는 하지만 태아의 모니터링에서부터 노인의 낙상예방, 경련의 모니터링에 이르기까지 다양하다.²⁻⁷⁾ 착용 가능한 건강관리 시스템은 의료비용을 줄이거나⁸⁾ 피검자가 인지하지 않은 상태에서도 생체신호를 측정할 수 있다는 등의 장점을 기대해 볼 수 있지만, 실제 임상에 적용하기 위해서는 많은 과제를 안고 있다. 이에 본 저자들은 생체 신호 모니터링의 기술적 요소를 기술하고, 실제 임상적으로 적용하고 있는 현황을 의복형을 중심으로 소개하고 이에 대한 문제점 및 향후 발전 방향에 대해 논의하고자 한다.

■ Received : February 1, 2011 ■ Accepted : March 23, 2011

■ Corresponding author : Hee-Cheol Kim, PhD

School of Computer Engineering and Ubiquitous Healthcare Research Center, Inje University, 607 Obang-dong, Gimhae, Gyeongnam 621-749, Korea

Tel: +82-55-320-3720, Fax: +82-55-324-3906

E-mail: heeki@inje.ac.kr

■ This study was supported by a grant from Korean Ministry of Knowledge Economy (budget number 10033321).

Table 1. Traditional medical devices and evolution of new healthcare services with information technology

Treatment type	Hospitalization/Emergency care	Residential nursing/Home care	Ubiquitous health monitoring
Cost/Performance	Low (treatment medicine)	Medium (regular monitoring)	High (preventive medicine)
Care place	Limited to medical organizations	Home	Anytime, anywhere
Care level	From basic care to management of high risk patients	Elderly	Health promotion (lifestyle support)
Available medical devices (size)	Any (big)	Designed for home use (portable)	Wearable sensors (tiny and light)

본 론

1. 기본 시스템의 구조 및 착용형(wearable) 센서

착용형 센서에서부터 얻어지는 생체신호는 적절한 분석 기술을 통해 사용자 및 건강 관리자에게 보내지는데, 이러한 시스템의 기본적인 구조는 그림 1과 같다. 이렇게 의복형 건강관리 시스템은 기술적으로 보았을 때, 섬유기술, 센서기술, 하드웨어, 소프트웨어 등의 네 가지 요소로 구분할 수 있으며 이 시스템의 핵심은 결국 착용형 센서 기술과 신호분석 기술이다. 본 종설에서는 센서의 종류와 센서에서 감지한 신호데이터를 증폭하고 잡음(노이즈)을 제거하고 처리하는 회로까지 보내는 통신기술에 대해서만 언급하고자 한다. 착용형 센서는 대부분 팔목이나 가슴에 차는 밴드 형태인데 기능적으로 여러 생체신호를 동시에 측정하는 장치⁹⁾부터 개별적으로 측정하는 장치까지 매우 다양하다. 각 센서는 측정하고자 하는 생체신호에 따라 아래와 같이 분류할 수 있다.

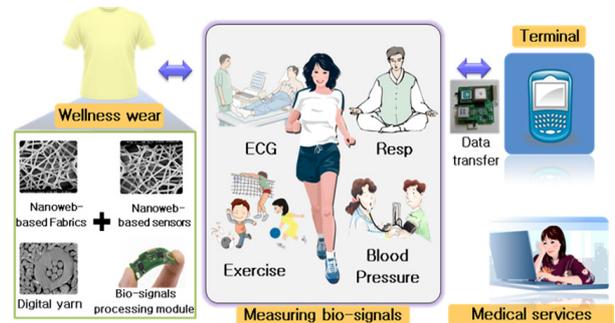
1) 산소포화도 센서

산소포화도를 이용한 peripheral oxygen saturation (SpO₂) 모니터링은 병원 응급실에서는 표준적으로 사용되는 측정 방법이다. 이는 빛의 특정 파장이 흡수되는 정도를 이용해서 동맥의 산소포화도를 실시간, 비침습적으로 모니터링하는 방법이다.¹⁰⁾ 주로 손가락의 모세혈관으로부터 측정하는 센서들이 많이 개발되어 이용되고 있다.¹¹⁾ 최근에는 SpO₂ 부착형 센서가 개발되어 모니터링의 정확도와 착용의 편리성을 높이는 제품들도 개발되고 있다.¹²⁾ 그럼에도 불구하고, 산소포화도를 편리하게 측정하는 데는 많은 문제점이 있고, 아직까지 의복일체형 센서는 개발되지 못하고 있다.

2) 심전도 센서

이전의 연속적인 심전도 모니터링의 목적은 생명을 위협하는 심장의 갑작스런 병적인 문제를 조기에 탐지하는데 유용한 목적으로 개발되었지만, 최근에는 무선기반의 건강관리장치 또는 병원이나 집에서 환자감시 장치로 많이 이용되고 있다.¹³⁾ 임상진단용 시스템과는 다르게 단지

Figure 1. System overview of wearable health management system



심전도의 R-peak을 탐지하는 방법들을 적용한 장치들이 많이 개발되어 운동기구에 탑재되고 있다. 이 장치들은 운동 효율성을 모니터링 하는 데 관심이 많은 건강인을 위한 장비로 이용되고 있다.¹⁴⁾ 심전도 센서의 형태와 부착하는 방법도 다양하게 발전하고 있다. 초기에는 주로 유선으로 연결된 센서를 사용하거나 몸이나 팔에 벨트형태로 부착하여 측정하는 방법이 많이 이용되어 왔지만, 심전도 측정의 정확도가 많이 떨어지고, 착용이 불편하다는 문제점이 있다. 이런 단점을 극복하기 위해 나노기술을 이용한 초소형 센서와 통합된 무선기반의 장비가 개발되고, 의복 일체형이나 몸에 붙이는 패치형태로 개발되고 있다.¹⁵⁾ VTAMN 프로젝트¹⁶⁾나 VivoMetrics사의 Lifeshirt (VivoMetrics Lifeshirt, VivoMetrics Inc., Ventura, CA., USA.) 등의 제품들은 옷속에 부착하는 착용형 시스템의 대표적인 사례라고 할 수 있다. 이런 의복일체형 센서들은 센서의 위치를 정확하게 부착할 수 있고, 가볍고, 편안하고, 세탁할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

3) 혈압센서

고혈압은 합병증을 예방하기 위해 조기 발견뿐 아니라 혈압조절 상태를 평가해야 하는 중요성 때문에 다양한 혈압 측정 장치가 개발되고 있다. 이 장치들은 병원뿐 아니라 자가 측정 목적으로 활용도가 높다. 혈압측정의 가장 큰 문제점은 혈압 모니터링을 위해서 장시간 센서를 부착해야 하는 불편한 측정방법이다. 주로 팔이나 손목에 부착하는 벨트형 장치들이 이용되며 정확한 착용을 위해서는 상

세하게 기술된 세부 지침이 필요하다.¹⁷⁾ 주로 자가 혈압 측정 목적으로 개발된 혈압측정 센서는 tactile sensor (tonometry) 등의 압력센서들이 대부분이다. 최근에는 장기간의 모니터링을 위해 photoplethysmography (PPG)를 이용한 방법들이 제시되고 있으며^{18,19)} PPG의 pulse transit time이나²⁰⁾ PPG 센서,²¹⁾ 광센서²²⁾를 이용한 기술들이 개발되고 있다.

4) 가속센서

가속센서(accelerometer)는 단위시간당 속도의 변화를 검출하는 소자로, 가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 감지한다. 가격이 저렴하고, 자세와 움직임을 정확하게 분석할 수 있으므로 낙상탐지, 보행분석뿐 아니라 만성폐쇄성폐질환과 같이 모니터링이 필요한 질환에서도 적용되고 있다.²³⁾ 최근에는 스마트폰에도 가속센서가 탑재되어 있으므로 자세 변화와 이동거리를 용이하게 평가할 수 있다.

5) 체온센서

정확한 체온을 측정하는 것은 생체리듬의 장애를 진단하는 데 매우 중요하다.²⁴⁾ 전통적인 체온 측정방법은 구강, 직장, 액와 부위에 체온계를 삽입해서 측정한다. 이 측정방법은 체내의 중심체온을 측정할 때 부위에 따라 정확도에 차이가 있고, 장시간에 걸쳐 연속적으로 체온을 평가하기 곤란한 한계가 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 체온센서를 탑재한 블루투스 이어폰 형태로 만들어진 장치나 센서의 소형화로 전화기에 체온센서를 부착하여 체온을 연속적으로 측정하는 장치도 개발되었다.²⁵⁾ 최근에는 의복형 센서의 복합적인 모듈로서 체온측정이 다른 생체 신호와 동시에 측정되는 시스템도 개발되고 있다.²⁶⁾

6) 호흡센서

호흡 모니터링은 보행 모니터링과 수면장애 평가와 같은 여러 분야에서 필요하다. 호흡신호는 흉부벨트를 착용하거나 코에서 측정하는 직접적 측정 방법도 있지만, 심전도, photoplethysmography (PPG), phonocardiogram (PCG)를 이용해서 간접적으로 측정하는 방법도 있다.²⁷⁾ 호흡신호는 심전도나 PPG의 주파수 변이뿐만 아니라 진폭의 변화에서도 나타나는 respiratory sinus arrhythmia (RSA)로 나타난다.^{28,29)} 그러나 이런 측정은 센서를 반드시 피부에 부착시켜야 하고 측정을 위해 착용을 오래해야 하는 단점이 있다. 이런 단점을 해결하기 위해서 카메라를 이용한 영상분석법과 같은 비접촉식 센서가 있지만 고가이고, 휴대하기 곤란한 점이 있다. 최근에는 섬유기반의 호흡측정 센서가 개발되고 있으며 이 센서는 의복형태로 착용할 수 있어 편리하고, 신호의 품질이 우수한 점이 장점이다.³⁰⁾

7) 광역측위시스템(global positioning system [GPS])센서

GPS 센서를 이용한 위치추적 방법은 여러 분야에서 많은 응용이 되어왔는데, 최근에는 좀 더 정확한 GPS센서가 개발되면서 스포츠분야에까지 응용이 확대되고 있다.³¹⁾ 일반적으로 스마트폰에 장착되는 GPS의 경우 저렴한 센서를 사용하여 위치 해상도가 낮고, 오차가 큰 단점이 있지만 휴대하기 좋기 때문에 다양한 운동보조 장치로 활용되고 있다. 특히, 운동 거리와 경로를 통해서 칼로리 소모량이나 운동패턴을 표시하는 개인 건강관리 응용프로그램에도 이용되고 있다.³²⁻³⁴⁾

2. 무선 신호 연결형태

센서와 회로 사이의 통신은 무선 통신도 가능하지만 의복의 특수 섬유를 이용한 유선통신도 가능하다.

1) Bluetooth

근거리 무선통신 규격의 하나로 10~100 m 반경 안에서 각종 전자정보통신 기기를 무선으로 제어하는 기술규격이다. 최근 건강에 대한 관심이 높아지면서 헬스기기 및 보정기구 등에도 블루투스를 사용하여 환자의 상태를 전송하거나 제어하는 등으로 활용되는 사례가 늘고 있다.³⁵⁻³⁹⁾ 더불어 생체신호 데이터 교환에 따른 프로토콜 표준화 작업을 거치면서 생체신호 측정기기와 단말기 간의 데이터 전송용으로 많이 사용되고 있다. 대부분의 휴대전화 및 이동식 단말기에 칩이 내장되어 있어 범용적인 측면에서 많은 장점을 가진다. 이러한 이유로 최근 생체신호를 휴대기기로 전송하는 기술로 많이 사용된다. 하지만 데이터 전송에 잡음과 신뢰도가 Zigbee에 비해 다소 떨어져 좀 더 나은 기술개발이 필요하다.

2) ZigBee (IEEE 802.15.4)

근거리 통신을 저속 전송 속도를 갖는 근거리 통신 IEEE802.15.4 표준 중 하나로 홈 오토메이션 및 데이터 네트워크를 위한 표준기술이다. 원래 가전제품이나 작은 전자기기 간의 통신을 목적으로 개발되었으나, 최근 ZigBee Alliance에서 발표한 ZigBee Application Profile (Personal Home & Hospital Care)에는 ZigBee를 이용하여 각종 생체정보를 휴대기기로 무선전송하고, 모니터링하는 용도로도 사용한다.⁴⁰⁾ 하지만 ZigBee 모듈을 탑재한 휴대기기가 제한적이기 때문에 범용성을 보장하지 못한다는 단점이 있다.

3) Radio frequency identification (RFID)

Radio frequency identification으로 IC칩을 내장해 무선으로 관련정보를 관리하는 인식기술이다. IC칩을 내장한

사물과 칩을 인식하여 판독하는 기기로 구성되며, 개발 당시 사물의 인식을 위하여 개발되었다. 최근 병원 내 환자들에게 RFID칩을 내장한 환자복으로 환자의 위치추적에 활용되고 있다.^{41,42)} 결국 RFID는 사물의 인식을 담당하는 무선통신으로 다량의 데이터를 전송하거나, 지속적인 연결형 네트워크에는 부적합하다.

4) Wideband code division multiple access (WCDMA), WIFI

WCDMA는 3세대 이동통신 기술 표준의 하나로 확산 대역 기술을 이용한 디지털 자동차, 휴대용전화에 쓰이는 표준기술이다. CDMA가 문자와 음성데이터에 최적화된 반면 영상신호를 전송할 수 있는 광대역 네트워크 기술이다. 일반적으로 무선 네트워크라 불리는 WIFI (WI-FI Alliance의 상표명)와 통신망이 다르지만 망 공유 기술을 이용하여 소비자들은 구분 없이 사용 가능하다. 최근 헬스케어에 대한 관심도가 증가하면서 생체신호를 전송하여, 이를 모니터링하고 건강상태를 체크하는 헬스케어 서비스 시스템 사업이 늘고 있다.⁴³⁾ 일반적으로 헬스케어 서비스 시스템은 사람의 몸에서 측정된 생체신호를 휴대용 기기에 전송하고, 이를 병원 또는 헬스케어 센터에 전송하여 질병예방 및 관리에 활용하는 서비스이다. 생체신호 측정 기기와 휴대기기간의 통신은 위에서 언급한 근거리 통신 (Bluetooth, Zigbee)을 이용하여 데이터 전송을 담당하지만, 병원 또는 헬스케어 센터로의 생체신호 전송은 WCDMA, 또는 WIFI 같은 광대역 무선 네트워크를 사용하여 전송하여야 한다. 따라서 U-헬스케어 시스템에는 필수적인 통신 기술로 자리 잡고 있다.

3. 의복형 생체신호 모니터링 시스템의 임상적 적용

아직 실제 임상상황에서 의복형 생체신호 모니터링 시스템을 사용하고 있는 예는 드물다. 현재 상업화된 제품은 피트니스나 운동보조 역할에 주로 이용되고 있는데, 대표적인 예가 미국 Nike사에서 개발한 Nike + ipod인데, 센서를 이용하여 실시간으로 운동거리와 소모 칼로리 등을 측정하여 휴대용 멀티기기를 통해 그 결과를 들을 수도 있는 운동 보조 시스템이다. 하지만 칼로리 소모에 있어서 실제 양에 비해 과측정 되는 단점이 있다.⁴⁴⁾ 비슷한 시스템으로는 독일 Adidas 사가 Polar Electro 사와 합작하여 운동 중 심박수 등 생체신호를 측정하여 시계형 단말기로 전송하고 운동량을 표시해주는 운동복을 상품화하였는데, 가슴 부위에 심박 측정 섬유와 심박기가 있는 셔츠와 밑창에 스피드센서가 내장된 신발과 손목형 컴퓨터가 하나의 키트로 구성되어 있다.⁴⁵⁾ 미국 Body Media사의 Sensewear

armband는 가속센서와 체온 전도센서(thermal conductivity sensor), 체온 센서 등을 이용 운동량 및 에너지 소모량을 측정해 준다. 하지만, 에너지 소모량에 대한 알고리즘의 정확성이 문제되어 지속적으로 수정 중에 있다.⁴⁶⁻⁴⁸⁾ 미국에서 개발되거나 현재 개발 중인 의복형 생체신호 모니터링 시스템으로는 SmartShirt (Sensatex Inc., USA)와 LifeShirt (VivoMetrics Inc., Ventura, CA., USA.)도 있다. SmartShirt는 군인의 위치와 상황을 모니터링 하기 위한 목적으로 처음 개발되었는데, 심박동, 호흡, 체온 센서와 전도 섬유로 이루어졌다.⁴⁹⁾ LifeShirt는 호흡, 심전도, 가속도 센서가 의복 안에 내장되어 있어 부정맥을 발견하거나,⁵⁰⁾ 수면무호흡증을 진단할 때,⁵¹⁾ 그리고 수술 중 환자의 생체신호를 모니터링할 때⁵²⁾ 등 다양하게 연구되었고, 그 심전도 및 호흡 결과에 대한 타당도도 확보되었다.^{53,54)} 일본에서는 Toshiba사에서 손목 착용형 감시 장치인 LifeMinder를 개발하였는데, 개인휴대장치인 PDA, 가속도 센서, 속도 센서 등으로 이루어져 개인의 위치를 추적하는 장치로 이용되었다.⁵⁵⁾ 유럽에서는 유럽연합에서 지원한 AMON프로젝트가 있는데, 질병 고위험군을 대상으로 한 손목 착용형 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 맥박, 산소포화도, 피부온도, 심전도 및 가속도 센서를 이용하여 고위험 심장 호흡기 계통 질환자들을 위한 시스템으로 건강한 성인 33명을 대상으로 타당도 조사가 이루어졌다.⁹⁾ 산소포화도 측정 및 심전도 측정결과가 기대에 미치지 못했지만, 모든 측정을 통합할 수 있었고, 혈압에 대한 측정 타당도는 높은 것으로 결론을 맺고 있다.⁹⁾ 또한 유럽 8개 기관의 컨소시엄으로 구성된 VTAM 프로젝트에서 개발한 기술은 심전도, 호흡, 체온 센서를 의복에 내장하였을 뿐만 아니라 낙상탐지기와 GPS 등을 내장하여 생체신호를 측정하고 있다.¹⁶⁾ 우리나라에서는 한국전자통신연구원(ETRI)이 의복, 휴대단말, 서비스센터 간의 무선통신을 통해 응급 상황 감시, 운동 및 비만 관리 등의 의료 서비스를 제공하는 시스템을 개발한 바 있다. 또한 한국생산기술연구원, 경희대학교, 가톨릭대학교, 인제대학교, 부산 백병원이 함께 참여하여 의복형 건강증진 시스템을 현재 개발 중인데, 심박동수, 가속도를 이용하여 운동량을 측정하고 권장 운동량을 제시하는 스마트폰 기반의 애플리케이션 개발은 물론, 심박동수 변이를 이용한 스트레스 및 비만 관리, 바이오피드백 등을 포함할 계획이다.⁵⁶⁾

4. 생체신호 모니터링 착용형 시스템의 도전과 과제

과거 개발되었거나 현재 개발 중인 의복형 건강관련 시스템들은 매우 다양한 반면 상업화되어 쓰이는 제품은 소수이다. 이는 의료기기로 활용되기 위해 거쳐야 할 검증과

정에서 의료기기의 적절성 기준에 미흡하기 때문일 가능성이 있다. 이러한 점에서 이러한 시스템이 극복해야 할 도전과 과제는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) Mobile health data에 대한 표준화 문제

산업 및 학문적 연구 목적으로 상용화되거나 개발 중인 모바일 건강관리 시스템은 많지만 서로 호환할 수 없는 시스템이다. 이러한 상호 운용성문제를 해결하기 위해서는 보안정보와 같은 인프라 기술에서부터 의료기기 규격 및 인터페이스 혹은 비즈니스 모델 요구 사항 등에 대한 표준화가 절실하다. 지금까지는 몇몇 연구기관 및 학회를 중심으로 의료 정보의 데이터 구조와 전송표준을 만들어 내려는 노력을 하고 있지만, 관련 의료인이나 전공자들, 기업의 참여와 동의를 이끌어내는 데 실패했다. 이는 표준화 작업의 초기에 들어가는 투자비용에 비해 그 효과를 확실하게 보여주지 못해 그 필요성은 서로 인식하면서도 도입이 미루어지고 있는 실정이다. 이를 위해서는 관련 꾸준한 정책적 일관성하에 정부기관, 기업, 연구 기관 등 범정부 차원의 기본적인 전략부터 표준화 안에 대한 논의가 이루어져야 할 것이다. 2007년 기업을 중심으로 한 Continua Health Alliance (www.continuaalliance.org)라는 국제 IT 의료기술 표준화협의회가 결성되었지만, 학계의 접근이 어려운 실정이다.⁵⁷⁾ 물론 기술의 특성상 하나의 획일적인 표준안만을 요구하는 것은 항상 문제의 소지도 있을 수 있다. U-health에 사용되는 기술들은 끊임없이 발전하고 있기 때문에 현재의 기술수준과 그에 따른 서비스만을 토대로 표준화 안을 만들 수는 없다. 기술의 발전에 따른 어느 정도 변이의 폭을 고려한 표준화 안이 절실하다.

2) 정확도 및 신뢰도 문제

앞서 기술한 바와 같이 의복형 모니터링 시스템으로 측정된 자료들의 정확도나 신뢰도와 관련된 연구가 많지는 않지만, 그 결과가 그리 긍정적이지는 않다. 신체에 밀착될수록 양질의 신체 정보를 얻을 수 있겠지만, 그럴수록 불편하기 때문에 오히려 그 불편함이 신체 정보에 영향을 줄 수 있다. 착용자가 느끼지 않는 상태에서 양질의 생체 신호를 얻는 기술은 아직도 개발 중이다. 생체 신호의 정확도와 신뢰도의 문제는 의료인들에게는 제일 중요한 문제로 기술의 상용화와 직결된 문제로 꼭 해결해야 할 과제다.

3) 보안을 포함한 법적 행정적 문제

개인의 생체신호는 엄연히 보호 받아야 할 개인정보이다. 특히 측정기술의 발달로 개인의 생체 신호뿐만 아니라, 위치 추적, 생활습관 정보, 행동 특성 정보 등 방대한

양의 개인 정보가 수집 가능해 집에 따라 개인의 사생활 침해뿐만 아니라 결과에 대한 서비스 과정에서 정보가 악용될 소지는 언제든지 존재한다. 따라서 이러한 개인 정보 보호 방법과 여러 사용자 및 서비스 제공자간의 안전한 정보 공유 및 인증 방법이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이는 법률적인 문제까지 포함되는데 현재의 개인정보 보호에 관한 법률들이 개인정보의 범위를 명확하게 하고 있지 않거나, 앞으로 더 넓어질 개인정보까지 다루고 있지 않는 문제점이 있다. 처음 설계단계에서부터 이러한 개인정보 보호에 대한 법적, 기술적 고려가 이루어지지 않는다면 그 편리성에도 불구하고 U-health 서비스 자체의 활성화를 기대할 수 없을 것이다. 또한 이러한 기술로 얻어지는 생체신호 정보를 이용한 의료 서비스들의 결과에 대한 책임 소재도 법적으로 명시되어야 하겠다. 향후 얻어진 생체신호를 이용 원격진료나 재택 진료 등 확장 가능한 영역에 대한 법적 제도적 근거 마련에도 구체적인 방법을 모색해야 할 것이다.

4) 기술과 임상적 응용 간의 차이

앞서 기술되었던 측정 가능한 생체신호가 과연 임상적으로 어떤 상황에 필요할 것인지에 대한 고민이 필요하다. 체온, 호흡 수, 맥박과 같은 생체신호는 중환자실과 같은 삶과 죽음을 넘나드는 환경에서나 의미 있는 생체신호이다. 그런 신호들을 지속적으로 축적하는 것이 그 비용-효과 측면에서 어느 정도 필요할지 의문이다. 오히려 혈당 같은 혈액에서 얻을 수 있는 지표들을 비침습적으로 획득할 수 있다면 훨씬 의미가 있을 것이다. 좀 더 다양하고 의미 있는 생체지표들을 얻을 수 있는 기술들이 개발된다면 임상적 응용의 범위가 훨씬 넓어질 것이다. 또한 기존의 생체 신호를 연속적인 활동 중에 얻어 응용할 수 있는 임상적인 지표 개발도 연구가 더 필요한 분야이다. 최근에 만성 질환에 대한 관심이 높아지면서 각각의 만성질환에 대한 모니터링 기술들이 개발되고 있는데, 발표된 대부분의 연구들이 대조군이 없는 비무작위(nonrandomized) 연구라는 지적이 있다.⁵⁸⁾

결론 및 전망

의복형 생체신호 모니터링 시스템은 U-health 중 원격 의료의 중심 기술로 발전을 거듭하고 있다. 신체의 일부에 착용하던 예전의 형태에서 점점 옷의 일체형으로 착용하여 일상생활 속에서 개인이 인지하지 않더라도 자연스럽게 생체신호를 측정할 수 있는 시스템으로 발전하고 있는 것이다. 현재 의복형의 생체 신호 모니터링 기술이 앞으로 어떻게 변화할 지는 아마도 기술의 신뢰도와 타당도

가 결정할 것이다. 충분한 증거 중심의 기술들이 만들어지면 그 확장성은 무궁무진하다. 현재의 처방전달 시스템(OCS), 전자의무기록,⁵⁹⁾ 영상정보관리시스템(PACS) 등 병원 내 병원정보시스템(hospital information system)과 만나게 되면 많은 부분 병원 내 활력증후를 측정하는 방법들의 변화가 올 것이고, 측정자가 따로 필요 없어 환자들에게는 더 나은 서비스를 제공할 수 있게 될 것이다. 또한 현재 개발 중인 다른 Information Technology (IT) 기술들과 만나면 그 쓰임이 더욱 다양해질 수 있다. 현재 Massachusetts Institute of Technology (MIT)에서 개발 중인 'Sixth Sense'는 몸짓을 이용한 가상현실 프로젝트인데, 이러한 사용자 인터페이스의 발전과 의복형 생체신호 모니터링의 융합도 기대해 볼 수 있겠다. 자신의 신체 정보를 필요한 순간에 특별한 모니터나 도구 없이 알 수 있고, 알아서 몸에 피드백 해 줄 수 있는 그런 날도 기대해 볼 수 있겠다. 이를 이루기 위해서는 앞서 기술한 대로 해결해야 할 기술적, 행정적, 법적 문제들이 많이 남아 있다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 결국 이러한 기술의 발전을 위해서는 국민의 건강증진에 관련된 다양한 분야 간의 지속적 협력이 필수적일 것이다.

요 약

생체 신호센서 기술의 발전으로 의복형 생체 신호 모니터링 시스템은 U-헬스 영역에서 각광 받는 분야로 떠오르고 있다. 의복형 센서는 장시간의 생체신호 모니터링을 통하여 건강증진 및 여러 만성질환, 신경 정신 질환의 치료에도 도움을 주고 있다. 본 중설에서는 각국의 의복형 생체 신호 모니터링 시스템의 사례를 기술하고, 향후 전망과 표준화, 행정적 관점, 타당성 문제, 기술과 임상적 응용의 차이점 등에 대해서 논의한다.

중심단어: 생체 모니터링, 원격진료, 건강증진

REFERENCES

- Bonato P. Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering. *IEEE Eng Med Biol Mag* 2003;22(3):18-20.
- Picard RW. Future affective technology for autism and emotion communication. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2009; 364(1535):3575-84.
- Hauenstein L, Gao T, White D. Service-oriented architecture for disaster response: integration of AID-N, MICHAELS, WISER, and ESSENCE. *AMIA Annu Symp Proc* 2006:944.
- Scanail CN, Ahearne B, Lyons GM. Long-term telemonitoring of mobility trends of elderly people using SMS messaging. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2006;10(2):412-3.
- McCombie DB, Shaltis PA, Reisner AT, Asada H. Adaptive hydrostatic blood pressure calibration: development of a wearable, autonomous pulse wave velocity blood pressure monitor. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2007;2007:370-3.
- Fanelli A, Ferrario M, Piccini L, Andreoni G, Matrone G, Magenes G, et al. Prototype of a wearable system for remote fetal monitoring during pregnancy. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2010;2010:5815-8.
- Poh MZ, Loddenkemper T, Swenson NC, Goyal S, Madsen JR, Picard RW. Continuous monitoring of electrodermal activity during epileptic seizures using a wearable sensor. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2010;2010:4415-8.
- Lagoda HL, Wilson LL, Henning WR, Flowers SL, Mills EW. Subjective and objective evaluation of veal lean color. *J Anim Sci* 2002;80(7):1911-6.
- Anliker U, Ward JA, Lukowicz P, Tröster G, Dolveck F, Baer M, et al. AMON: a wearable multiparameter medical monitoring and alert system. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2004;8(4):415-27.
- Wukitsch MW, Petterson MT, Tobler DR, Pologe JA. Pulse oximetry: analysis of theory, technology, and practice. *J Clin Monit* 1988;4(4):290-301.
- Cheng MH, Chen LC, Hung YC, Yang CM. A real-time maximum-likelihood heart-rate estimator for wearable textile sensors. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2008;2008:254-7.
- Nuhr M, Hoerauf K, Joldzo A, Frickey N, Barker R, Gorove L, et al. Forehead SpO2 monitoring compared to finger SpO2 recording in emergency transport. *Anaesthesia* 2004;59(4):390-3.
- Taylor SA, Sharif H. Wearable patient monitoring application (ECG) using wireless sensor networks. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2006;1:5977-80.
- Welch J, Guilak F, Baker S. A wireless ECG smart sensor for broad application in life threatening event detection. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004;5:3447-9.
- Ní Scanail C, Carew S, Barralon P, Noury N, Lyons D, Lyons GM. A review of approaches to mobility telemonitoring of the elderly in their living environment. *Ann Biomed Eng* 2006; 34(4):547-63.
- Noury N, Dittmar A, Corroy C, Baghai R, Weber JL, Blanc D, et al. VTAMN--a smart clothe for ambulatory remote monitoring of physiological parameters and activity. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004;5:3266-9.
- Uen S, Weisser B, Wieneke P, Vetter H, Mengden T. Evaluation of the performance of a wrist blood pressure measuring device with a position sensor compared to ambulatory 24-hour blood pressure measurements. *Am J Hypertens* 2002;15(9):787-92.
- Millasseau SC, Guigui FG, Kelly RP, Prasad K, Cockcroft JR, Ritter JM, et al. Noninvasive assessment of the digital volume pulse. Comparison with the peripheral pressure pulse. *Hypertension* 2000;36(6):952-6.
- Awad AA, Ghobashy MA, Stout RG, Silverman DG, Shelley KH. How does the plethysmogram derived from the pulse oximeter relate to arterial blood pressure in coronary artery bypass graft patients? *Anesth Analg* 2001;93(6):1466-71.
- Park M, Kang H, Huh Y, Kim KC. Cuffless and noninvasive measurement of systolic blood pressure, diastolic blood pressure, mean arterial pressure and pulse pressure using radial artery tonometry pressure sensor with concept of Korean traditional medicine. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2007;

- 2007:3597-600.
21. Suzuki S, Oguri K. Cuffless blood pressure estimation by error-correcting output coding method based on an aggregation of AdaBoost with a photoplethysmograph sensor. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2009;2009:6765-8.
 22. Myllylä TS, Elseoud AA, Sorvoja HS, Myllylä RA, Harja JM, Nikkinen J, et al. Fibre optic sensor for non-invasive monitoring of blood pressure during MRI scanning. *J Biophotonics* 2011;4(1-2):98-107.
 23. Mathie MJ, Coster AC, Lovell NH, Celler BG. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. *Physiol Meas* 2004;25(2):R1-20.
 24. Scheer FA, Wright KP Jr, Kronauer RE, Czeisler CA. Plasticity of the intrinsic period of the human circadian timing system. *PLoS One* 2007;2(1):e721.
 25. Sanches JM, Pereira B, Paiva T. Headset Bluetooth and cell phone based continuous central body temperature measurement system. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2010;2010:2975-8.
 26. Jovanov E, Lords AO, Raskovic D, Cox PG, Adhami R, Andrasik F. Stress monitoring using a distributed wireless intelligent sensor system. *IEEE Eng Med Biol Mag* 2003;22(3):49-55.
 27. Ahlstrom C, Johansson A, Lanne T, Ask P. A respiration monitor based on electrocardiographic and photoplethysmographic sensor fusion. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004;3:2311-4.
 28. Kotani K, Hidaka I, Yamamoto Y, Ozono S. Analysis of respiratory sinus arrhythmia with respect to respiratory phase. *Methods Inf Med* 2000;39(2):153-6.
 29. Johansson A. Neural network for photoplethysmographic respiratory rate monitoring. *Med Biol Eng Comput* 2003;41(3):242-8.
 30. Catrysse M, Puers R, Hertleer C, Van Langenhove L, van Egmond H, Matthys D. Towards the integration of textile sensors in a wireless monitoring suit. *Sensors and Actuators A: Physical* 2004;114(2-3):302-11.
 31. Larsson P, Henriksson-Larsén K. Combined metabolic gas analyser and dGPS analysis of performance in cross-country skiing. *J Sports Sci* 2005;23(8):861-70.
 32. Terrier P, Schutz Y. How useful is satellite positioning system (GPS) to track gait parameters? A review. *J Neuroeng Rehabil* 2005;2:28.
 33. Terrier P, Turner V, Schutz Y. GPS analysis of human locomotion: further evidence for long-range correlations in stride-to-stride fluctuations of gait parameters. *Hum Mov Sci* 2005;24(1):97-115.
 34. Tan H, Wilson AM, Lowe J. Measurement of stride parameters using a wearable GPS and inertial measurement unit. *J Biomech* 2008;41(7):1398-406.
 35. Lucani D, Cataldo G, Cruz J, Villegas G, Wong S. A portable ECG monitoring device with Bluetooth and Holter capabilities for telemedicine applications. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2006;1:5244-7.
 36. Soueid A. A new tool for the operating surgeon: a Bluetooth mobile phone headset. *Burns* 2006;32(7):927-8.
 37. Qian H, Loizou PC, Dorman MF. A phone-assistive device based on Bluetooth technology for cochlear implant users. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2003;11(3):282-7.
 38. Lou E, Fedorak MV, Hill DL, Raso JV, Moreau MJ, Mahood JK. Bluetooth wireless database for scoliosis clinics. *Med Biol Eng Comput* 2003;41(3):346-9.
 39. Grossmann U, Kunze C, Stork W, Müller-Glaser KD. Mobile ECG with Bluetooth communication. *Biomed Tech (Berl)* 2002;47(Suppl 1):363-4.
 40. Bogónez-Franco P, Bragós R, Bayés-Genis A, Rosell-Ferrer J. Implantable bioimpedance monitor using ZigBee. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2009;2009:4868-71.
 41. Stahl JE, Holt JK, Gagliano NJ. Understanding performance and behavior of tightly coupled outpatient systems using RFID: initial experience. *Med Syst* 2009 Sep 10 [Epub ahead of print].
 42. Iadanza E, Dori F, Miniati R, Bonaiuti R. Patients tracking and identifying inside hospital: a multilayer method to plan an RFID solution. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2008;2008:1462-5.
 43. You JS, Park S, Chung SP, Park JW. Could new communication systems be used to advise public in emergency situations? The HSDPA/WCDMA-based video telephony application to pre-hospital care medicine. *Emerg Med J* 2009;26(2):152-3.
 44. Kane NA, Simmons MC, John D, Thompson DL, Bassett DR. Validity of the Nike+ device during walking and running. *Int J Sports Med* 2010;31(2):101-5.
 45. Koehler K, Braun H, de Marées M, Fusch G, Fusch C, Schaezner W. Assessing energy expenditure in male endurance athletes: validity of the SenseWear Armband. *Med Sci Sports Exerc* 2010 Dec 1 [Epub ahead of print].
 46. Jakicic JM, Marcus M, Gallagher KI, Randall C, Thomas E, Goss FL, et al. Evaluation of the SenseWear Pro Armband to assess energy expenditure during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(5):897-904.
 47. Calabró MA, Welk GJ, Eisenmann JC. Validation of the SenseWear Pro Armband algorithms in children. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(9):1714-20.
 48. Giobbi G. Evaluation of total energy expenditure in adult, overweight and free-living subjects. A comparison between two methods: factorial method vs SenseWear Armband "Metabolic Holter". *Clin Ter* 2008;159(6):405-7.
 49. "Smart shirt" can save lives on the battlefield. *Telemed Virtual Real* 1998;3(5):51, 55.
 50. Kyle AM, Rogers PI, Han S, Chen PS, March KL. LifeShirt acquisition system to monitor ECG from ambulatory swine and the implementation of an arrhythmia detection algorithm. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2009;2009:4820-3.
 51. Goodrich S, Orr WC. An investigation of the validity of the Lifeshirt in comparison to standard polysomnography in the detection of obstructive sleep apnea. *Sleep Med* 2009;10(1):118-22.
 52. Halín N, Junnila M, Loula P, Aarnio P. The LifeShirt system for wireless patient monitoring in the operating room. *J Telemed Telecare* 2005;11(Suppl 2):S41-3.
 53. Kent L, O'Neill B, Davison G, Nevill A, Elborn JS, Bradley JM. Validity and reliability of cardiorespiratory measurements recorded by the LifeShirt during exercise tests. *Respir Physiol Neurobiol* 2009;167(2):162-7.
 54. Heilman KJ, Porges SW. Accuracy of the LifeShirt (Vivometrics) in the detection of cardiac rhythms. *Biol Psychol* 2007;75(3):300-5.
 55. Suzuki T, Doi M. LifeMinder: an evidence-based wearable

- healthcare assistant. Proceedings of the ACM CHI Conference; 2001 March-April.
56. Kim HC, Kim TW, Joo MI, Yi SH, Yoo CS, Lee K, et al. Design of a Calorie Tracker utilizing heart rate variability obtained by nanofiber technique-based wellness wear systems. *Advanced Science Letters* 2011 (In Press).
 57. Fletcher RR, Poh MZ, Eydgahi H. Wearable sensors: opportunities and challenges for low-cost health care. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2010;2010:1763-6.
 58. Paré G, Jaana M, Sicotte C. Systematic review of home tele-monitoring for chronic diseases: the evidence base. *J Am Med Inform Assoc* 2007;14(3):269-77.
 59. Kannry J, Emro S, Blount M, Ebling M. Small-scale testing of RFID in a hospital setting: RFID as bed trigger. *AMIA Annu Symp Proc* 2007:384-8.