

## 심전도 모니터링 스마트 의류 디자인을 위한 바디매핑 기반 전극 위치 연구

조하경 · 조상우<sup>1)†</sup>

(주)블랙야크 상품기획부

<sup>1)</sup>호서대학교 스포츠과학부

### A Study of Electrode Locations for Design of ECG Monitoring Smart Clothing based on Body Mapping

Hakyung Cho and Sang woo Cho<sup>1)†</sup>

*Dept. of Merchandising, BLACKYAK Co. Ltd.; Seoul, Korea*

<sup>1)</sup>*Dept. of Sports Science, Hoseo University; Asan, Korea*

**Abstract :** The increase in the need for a 24 hour monitoring of biological signals has been accompanied by an increasing interest in wearable systems that can register ECG at any time and place. ECG-monitoring clothing is a wearable system that records heart function continuously, but there have been difficulties in making accurate measurements due to motion artifacts. Although various factors may cause noise in measurements due to motion, the variations in the body surface and clothing during movements that cause eventual the shifting and displacement of the electrodes is particularly noteworthy. Therefore, this study used biomedical body mapping and a motion-capture system to measure and analyze the changes in the body surface and garment during movements. It was deduced that the area where the friction and separation between the garment and skin is the lowest would be the appropriate location to place the ECG electrodes. For this study, 5 male and 5 female in their 20s were selected as subjects, and through their selected body movements, the changes in the garment and skin were analyzed using the motion-capture system. As a result, the area below the chest circumference and the area below the shoulder blades were proposed as the optimal location of electrode for ECG monitoring.

**Key words :** body mapping(바디매핑), 3D motion capture(3D 모션캡처), skin change rate(체표변화율), clothing change rate(의복변화율), optimal location of electrode(최적 전극위치)

## 1. 서 론

고령화 사회로의 진입, 만성질환자의 증가로 인하여 언제 어디서나 지속적 측정이 가능한 웨어러블 시스템에 대한 수요가 높아질 것으로 예측되고 있다(Jeong et al., 2010; Yu et al., 2012). 이에 따라 심장활동을 측정할 수 있는 심전도 모니터링 스마트 의류에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있으며, 그 형태 또한 벨트에서 의류까지 다양하게 연구되고 있다.

그 중 전도성 섬유 전극을 기반으로 하는 스마트 의류는 언제 어디서나 비침습, 무자각적인 생체 신호 측정이 가능하다는 점에서 장점이 있으나(Min et al., 2010), 심박 측정 시 동작으로 인한 잡음에 취약하여 움직임이나 외부의 충격에 신호 측정이 어려운 단점이 있다(Cho et al., 2015a; Koo et al., 2014).

스마트 의류에 적용되는 인체 접촉식 전극은 인체와 전극사이의 임피던스 변화를 감지하는 원리를 갖는데, 전극과 인체 사

이에 동작으로 인한 전극의 인체 대응위치의 변화가 동작 잡음에서의 가장 주요한 원인이 되고 있다(Koo et al., 2015). 따라서 스마트 의류에서의 동작 잡음을 최소화하기 위하여 의공학 분야에서의 다양한 필터링에 관한 연구뿐 아니라, 의류학 분야에서의 인체 밀착을 위한 소재 및 의류 디자인 연구(Jang, 2006; Jeong et al., 2010), 인체 밀착형 전극 디자인 연구(Lee, 2010; Song et al., 2010) 등 다양한 연구가 진행되어오고 있다.

동작 잡음을 최소화하기 위해서는 인체와 전극 사이에서 발생하는 요인인 의복의 피부 스킴을 통한 노이즈, 움직임 시 의복이 피부로부터 떨어져서 생기는 노이즈 의복과 인체 사이에서 발생하는 특성에 대한 근본적인 연구가 요구되나 이에 대한 연구는 미비한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 선행 체표변화 연구(Cho et al., 2015a)를 기반으로 바디매핑 기술을 적용하여 동작 시 발생하는 체표변화율 및 의류변화율을 고찰, 인체의 움직임으로부터 가장 영향이 적은 위치를 도출, 심전도 모니터링 의류에 있어 최적의 전극 위치를 제시하고자 하였다.

†Corresponding author; Sang woo Cho  
Tel. +82-41-540-5886, Fax. +82-41-540-5882  
E-mail: chogolf@hoseo.edu

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 바디 매핑

바디 매핑은 인체 구성을 파악하고 구분하여 의류 설계에 적용하는 설계기술로, 생체 신호를 수집하는 기술에서 인체 움직임 패턴을 분석하고 센서 및 측정 기기의 위치 설계를 위한 연구기법을 의미한다(Watkins, 1984).

의공학에서의 바디매핑은 센서 위치를 기반으로 인체 표면의 매핑(BSPM; Body Surface Portantial Mapping)을 통해 피부 표면을 분할하고 그 위에 전극을 어레이하여 심전도 신호의 정확성 및 효용성을 갖는 부위를 분석하는 매핑 기법으로 심전도 모니터링 웨어러블 시스템에 있어서 적합 센서 위치를 찾기 위한 연구들이 진행되고 있다(Mohindra et al., 2007; Ornato et al., 2002; Self et al., 2006; Sobieszczanska et al., 2007; Tysler et al., 2007).

최근에는 바디매핑을 적용하여 심전도 측정 웨어러블 시스템 연구가 진행되고 있는데, 심장 모니터링 및 분석을 위한 스마트 셔츠의 센서 위치 도출을 위하여 피부에 192개의 리드(Lead)를 부착하고, 표면 전위를 측정함으로써 흉부 주변에서의 심전도 신호의 효용성을 확인한 바 있으며(Finlay et al., 2008), 심전도 적용 의류의 최적의 센서 위치 도출을 위하여 의공학적인 바디 매핑 기법을 적용하여, 건식 전극 60개를 그리드하여, 동작에 따른 각 부위에서의 심전도 신호를 측정하여 최적의 전극위치를 도출한 바 있다(Cho et al., 2015b).

### 2.2. 심전도 모니터링 의류에서의 동작 잡음

동작으로 인한 잡음을 최소화하고 센싱된 정보의 신뢰성을 높이기 위해서는 동작에 따른 인체의 해부학적 이해를 바탕으로 의류의 구조적 접근을 통해 심전도 측정 의류 설계 시 전극 위치 변화의 최소화를 위하여 전극의 밀착 방법 등을 설계에 적용하는 등 새로운 의류의 구조가 요구된다(Koo, 2008).

최근에는 착용자의 움직임으로부터 발생하는 동작 잡음을 스마트 의류를 통한 심전도 모니터링의 측정 한계로 인식하고, 이를 해결하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 동작 잡음을 최소화하기 위한 최적의 전극위치에 관한 연구(Cho et al., 2010; Cho et al., 2015b), 의류 소재에 따른 인체 밀착성에 관

한 연구(Jang, 2006), 인체 밀착성을 위한 입체형 전극 개발 연구(Cömert et al., 2013; Kang, 2008), 생체 신호 측정을 위한 인체 밀착 의류 연구(Jeong et al., 2010; Jeong et al., 2012) 등으로 다양하게 진행되고 있다.

## 3. 연구 방법

### 3.1. 연구의 설계

본 연구는 동작 시에 발생하는 체표 변화와 의복 변화를 비교·분석하고, 움직임에서의 변화를 차이로 인한 전극의 마찰 및 이격을 최소화하여 동작 잡음에 영향을 가장 적게 받는 부위를 도출하여 의류에서의 심전도 전극 적합위치로 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 선행 체표변화 연구(Cho et al., 2015a)를 기반으로, 동작 시의 체표 및 의복변화율을 분석하기 위하여 9가지 대표동작을 선정하고 3D 모션 캡처를 사용하여 동작에 따른 체표변화율과 의복변화율의 변화량을 측정·분석하였다. 이를 통해 체표 및 의복변화율이 일치하는 부위를 도출하고, 임상 심전도 센싱 위치(Fletcher et al., 2001)와 비교하여, 심전도 모니터링 의류 전극의 위치를 제시하였다(Fig. 2).

### 3.2. 피험자

본 연구에서의 피험자는 선행 체표변화 연구(Cho et al., 2015a)와 동일한 피험자로 구성되었다. 측정 대상은 20대 남자

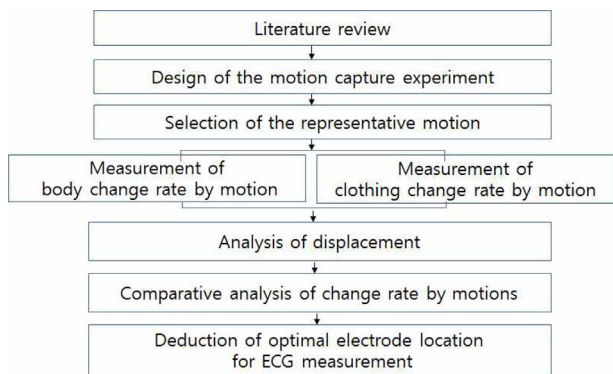


Fig. 2. Research method.



Fig. 1. Example of the smart clothing design for ECG monitoring. Jeong & Yang (2012), p. 41-42.

**Table 1.** Subjects

	Gender	Age	Height(cm)	Mass(kg)	BMI
S1		29	175	64	20.9
S2		26	168	58	20.5
S3	Male	22	175	72	23.5
S4		26	168	59	20.9
S5		23	173	69	23.1
S6		21	156	54	22.2
S7		20	155	48	20.0
S8	Female	20	157	53	21.5
S9		20	160	52	20.3
S10		22	160	52	20.3

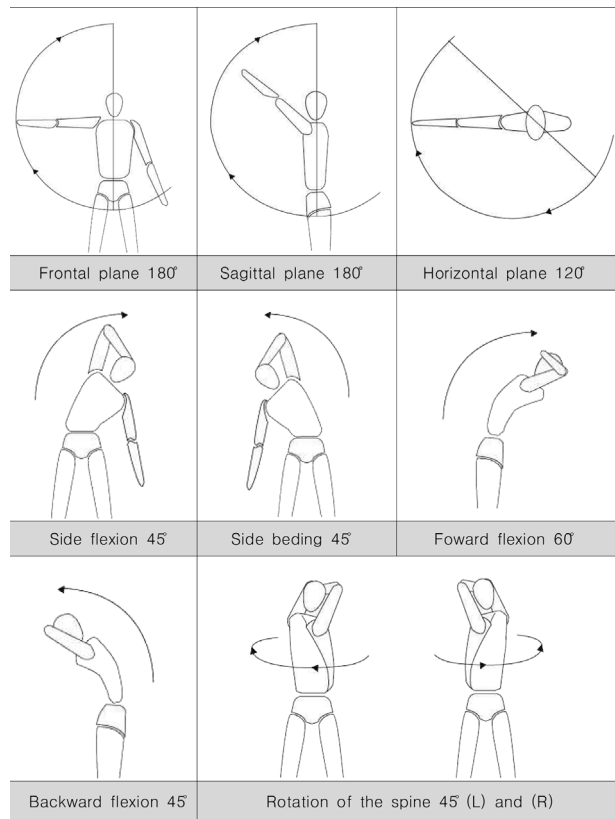
Source : Cho et al. (2015a), p. 845.

및 여성 각각 5명으로 구성, 총 10명의 피험자를 선정하였으며, 인체의 다양한 체형으로 인한 체표변화의 다양화 및 의복 맞춤성에 미칠 영향을 고려하여, 체형의 측정 대상을 제한, BMI 지수 20.0~25.0 사이에서의 표준체형을 갖는 남성 5명, 여성 5명으로 구성하였다(Table 1). 본 실험에 참여한 피험자들은 실험 수행에 문제가 없는 정상적인 활동 범위를 갖는 건강한 피험자들로 실험 내용을 숙지하고 자발적으로 참여하였으며, 실험에 동의하는 서면 절차를 거쳐 진행하였다.

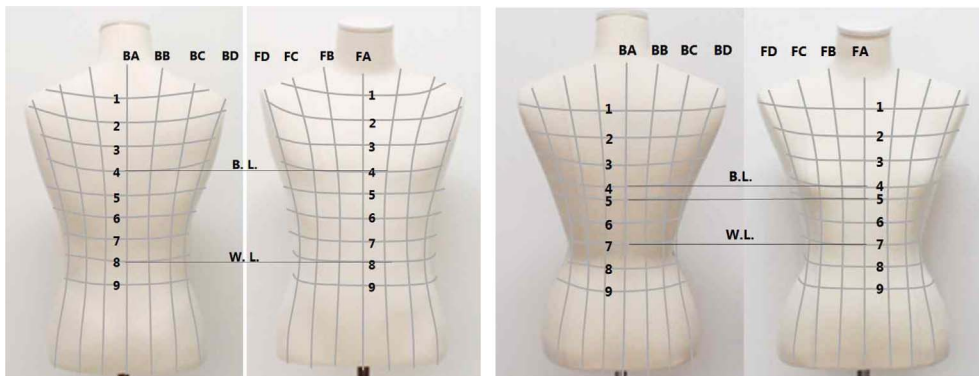
**3.3. 마킹**

인체의 기본 계측점들을 기준점으로 하여 인체의 오른쪽 부분에 마킹하였으며, 남녀 인체의 특성의 차이를 고려하여 진행하였다. 남성피험자의 경우 앞·뒤 중심선 및 가슴선을 기준으로 가슴선 윗부분은 패턴 제작의 기준선을 따라 분할하였다. 체표의 앞부분에서는 앞중심선을 기준으로 하여 앞목점과 옆목점을 분류하고, 옆목점과 어깨점 사이를 2등분하였으며, 앞목점부터 FA에서 FD로 명명하였다. FC에서 앞가슴점을 지나도록 선을 나누고, FC와 FA 사이를 이등분하였다. 가슴둘레선 이하는 앞선 4가슴둘레 윗부분의 4등분선을 기준으로 허리선 아래까지 직선으로 선을 연장하였다. 체표의 뒷부분에서는 뒷목점

을 기준으로, 옆목점에서 어깨점까지의 거리를 2등분하고 중심선부터 각각 BA, BB, BC, BD로 명명하였다. 가슴둘레를 3등분으로 나누어 BA-BD의 각 점에서 가슴둘레까지 연결하고 허리 아래부분까지 직선으로 연장하였다. 가로선은 가슴둘레선을 중심으로 하여 어깨점과 가슴둘레선 사이를 3등분하고, 가슴둘레부터 허리둘레까지의 거리를 4등분하였으며, 그 한 칸 만큼의 길이를 허리둘레선 아래로 연장, 1에서 9까지 명명하였으며, 가로·세로선이 교차되는 점을 기준으로 총 72개의 마커를



**Fig. 4.** Representative motions for experiment. Cho et al. (2015a), p. 847.



**Fig. 3.** Range of marking(left : male, right : female).

부착하였다. 여성피험자의 경우, 신체적 조건을 고려하여 윗가슴둘레와 밑가슴둘레를 추가로 구분하고 밑가슴둘레에서 허리선까지 3등분하였으며, 그 한 칸의 길이만큼 허리둘레 아래까지 연장하였으며, 이를 기준으로 남성피험자와 동일한 방식으로 마킹을 진행하였다(Fig. 3).

**3.4. 대표 동작의 선정**

의복에서의 체표 변화측정을 위한 선행연구(Cho et al., 2015a)에서 상체 대표동작 9가지를 동일하게 선정, 진행하였다(Fig. 4).

**3.5. 실험 방법 및 분석**

**3.5.1. 실험 방법**

대표동작 9가지를 기준으로 정자세에서 대표 동작을 실행하고, 다시 정자세로 돌아오는 것을 하나의 사이클(Cycle)로 3회 반복 측정하였다. 피험자들은 동작 시 체표변화율을 측정하기 위해 상의를 탈의하고 기준선에 따라 마커를 부착한 후 실험을 진행하였다. 또한, 동작에 따른 의복변화율을 측정하기 위해 몸에 밀착되는 스포츠용 티셔츠를 착용한 후 체표변화 측정과 같은 방법으로 마킹한 후 실험 프로토콜에 따라 진행하였다. 따라서 각 피험자마다 탈의 시 27회, 착복 시 27회 동작을 진행 총 54회의 동작을 진행하였다. 최대 0.1mm이내의 정밀도 및 100Hz의 측정 속도를 갖는 3차원 광학식 동작 분석 시스템인 VICON Motion Systems Ltd.(UK)의 VICON MX-T40S를 적

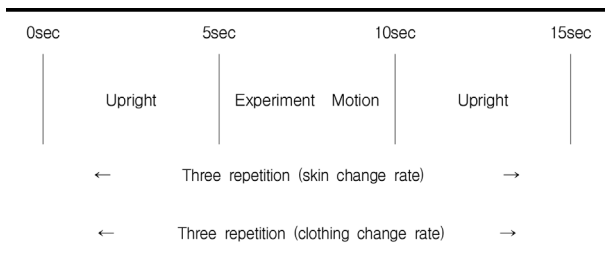


Fig. 5. Protocol of experiment.

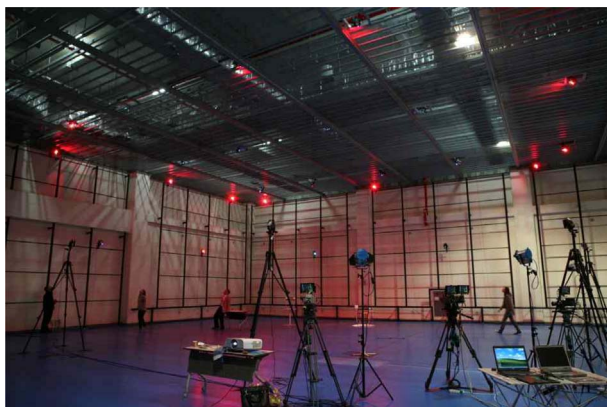


Fig. 6. Motion capture system. Motion capture system (August 19, 2011).

용(Fig. 6)하여 동작에 따른 체표 및 의복 변화를 측정하였으며, VICON Nexus 1.7을 사용하여 분석하였다(“Motion capture system”, 2011).

**3.5.2. 자료 분석**

표시된 마커간의 거리를 동작별로 수치화 한 후 ‘정지 자세’와 비교하여 동작별 피부변화율, 의복변화율을 도출하여 각각의 변화율을 상의 형상에 도시하였다. 정지자세에서 각각의 대표동작을 진행, 피크(peak) 지점이 되는 부위에 도달했을 때, 0.05초 동안의 값을 측정하고 반복된 세 번의 동작 값을 평균하였다. 팔 동작의 경우 손끝이 시작되는 피크점과 최대 동작치의 피크점을 측정하였으며, 몸통 회전시에는 최대 회전점이 되는 피크점을 기준으로 측정하였다.

또한, 이 결과를 바탕으로 동작에 의해 영향을 받는 부분을 체표 및 의복으로 구분하여 변화율을 도출하고, 심전도 신호 측정 시 체표-의복의 변화율 차이로 인한 동적 잡음의 최소화 위치를 도출하기 위하여, 체표 및 의복의 10% 이하의 변화율을 갖는 최소 변화 위치와 체표-의복간 동일 변화율을 갖는 위치를 분석하였으며, 이를 임상적 심전도 위치와 비교·분석하여 최종적으로 의류에서의 심전도 전극 최적 위치를 제시하였다.

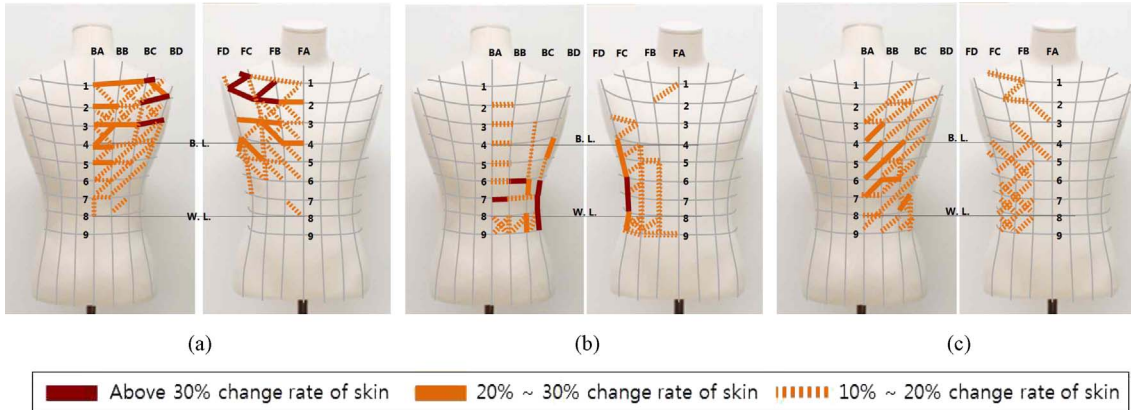
**4. 결과 및 논의**

**4.1. 동작에 따른 체표 및 의복 변화**

**4.1.1. 동작에 따른 남성의 체표 및 의복 변화**

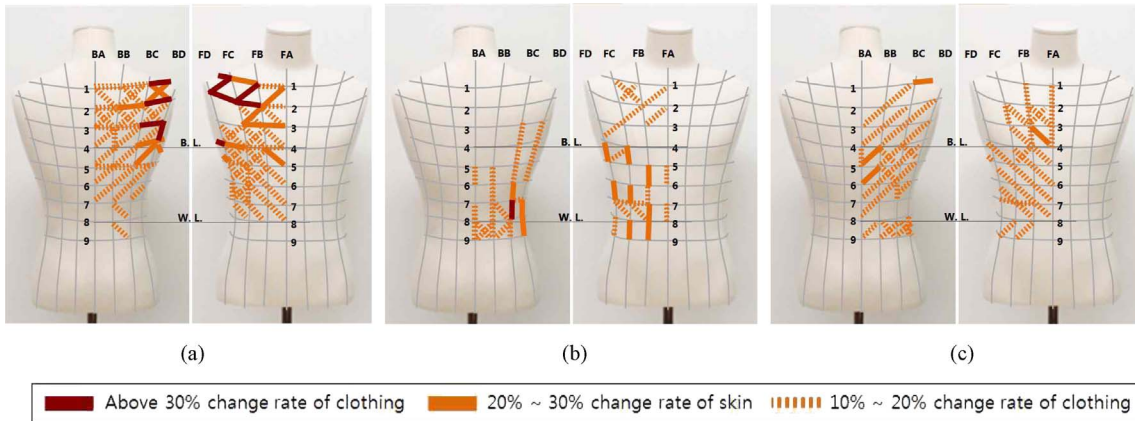
남성의 팔 동작에서 체표 및 의복 변화를 비교·분석한 결과, 모두 가슴둘레 윗부분에서 수평 방향으로의 변화율이, 가슴둘레 아래부위에서 대각선 방향으로의 변화율이 두드러진 것으로 나타났다. 세부적으로 팔 동작에서 체표 FC-FD:1, FB-FD:2, FB-FC:1-2, FC-FD:1-2, BC-BD:1, BC-BD:2, BC-BD:3에서 30% 이상의 변화율을 보였으며, 의복 FC-FD:1, FB-FD:2, FB-FC:1-2, FC-FD:1-2, BC-BD:1, BC-BD:2, BC-BD:3, BD:3-4에서 30% 이상의 변화율을 보여 체표와 의복에서 유사한 변화율(30% 이상) 및 범위를 갖는 것으로 분석되었다. 팔 동작에서는 체표 FA-FB:2, FB-FD:3, FA-FB:4, FC-FB:3-4, BA-BC:1, BA-BB:2, BA-BC:3, BA-BB:4, BA-BB:5, BB-BA:3-4, BC-BD:1-2 부위에서 20~30%의 변화율을 갖는 것으로 분석되었으며, 의복 FB-FC:1, FA-FC:3, FA-FC:1-3, FC-FD:3, FB-FA:4-5, BC-BD:1-2, BD-BC:1-2, BB-BC:2, BC-BD:4, BD-BC:4-5, BD-FD:4-5에서 20~30%의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. 몸통 동작 Side flexion and bending 및 Forward flexion and Backward flexion의 변화를 종합 분석한 결과, 체표 FD:6-8, BB-BC:6, BA-BB:7, BD:6-9에서 30% 이상의 변화량을 보이는 것으로 분석되었으며, 의복 BC:7-8에서 30% 이상의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. 체표 FD:4-6, FD:8-9, BC:6-7, BC:8-9, BD:4-5에서 20~30%의 변화율이 나타났으며, 의복 FB:5-6, FB:7-9, FC:4-5, FC:6-7,





(a) Body surface change of arm-motions, (b) Body surface change of side flexion and ending/Forward flexion and bending motions, (c) Body surface change of rotation of the spine motions

Fig. 7. Change rate of body surface in male subjects.



(a) Clothing surface change of arm-motions, (b) Clothing surface change of side flexion and bending/Forward flexion and bending motions, (c) Clothing surface change of rotation of the spine motions

Fig. 8. Change rate of clothing surface in male subjects.

FC:8-9, FD:4-5, FD:6-7, BC:6-7, BD:7-9에서 20~30%의 변화율을 갖는 것으로 분석되어 체표에 비해 의복의 앞부분에서 수직 방향으로 더 큰 변화량을 갖는 것으로 분석되었다. 체표에서는 의복과 달리 뒤 중심선에 가까운 BA-BB:2-6에 걸쳐 10~20%의 수평 방향으로의 변화율을 보이는 것으로 분석되었으며, 가슴둘레 아래부분에서는 의복 변화와 달리 체표 FC-FD:3-7에서 대각선 방향으로의 변화율을 나타내었다. Rotation of the spine 동작 시 체표 및 의복변화율은 대각선 방향으로 두드러지는 경향을 보였으며, 체표 BB-BA:3-4, BB-BA:4-5, BC-BA:4-6, BB-BA:6-7, BB-BC:6, BD-BC:7-8에서 20%~30%의 변화율을 보였으며, 20%~30%의 체표 변화는 등 부위에 국한되어 나타나는 것으로 분석되었다. 의복 BD-BC:1, BB-BA:4-5, BB-BA:5-6 및 FB-FA:3-4에서 20~30%의 변화율을 보여 체표에 비해 적은 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. 체표 및 의복 모두 대각선 방향으로의 변화율을 갖는 것으로 분

석되었으며, 앞가슴둘레 아래부분에서 체표 변화와 반대되는 대각선 방향으로의 의복변화를 보였는데, 이는 체표 변화로 인해 의복의 당김현상으로 인한 결과로 보여지며, 남녀 모두에게서 동일한 양상으로 나타났다.

#### 4.1.2. 동작에 따른 여성의 체표 및 의복 변화

여성의 경우 팔 동작 시 체표 및 의복에서 수평 방향으로 큰 변화율을 갖는 것으로 분석되어 남성피험자와 유사한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 팔 동작 시 체표 FC-FD:1, FC-FD:2, FA-FB:1-2, FC-FD:1-2, BB-BD:1, BB-BD:2, BC-BD:1-2, BD:2-3, BD-BC:3-4에서 30% 이상의 변화율을 보였으며, 의복 FC-FD:1, FC-FD:2, BC-BD:1, BC-BD:2, BC-BD:1-2에서 30% 이상의 변화율을 갖는 것으로 분석되어 체표 변화와 유사한 경향을 갖는 것으로 분석되었다.

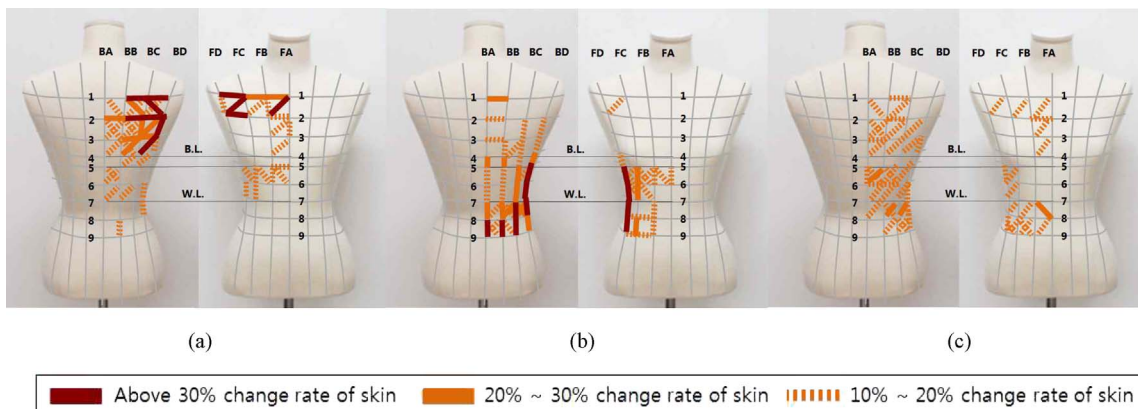
Side flexion and bending 및 Forward and Backward flexion

에서는 체표 및 의복 모두 가슴둘레 아래부위에서 수직 방향 변화가 두드러진 것으로 분석되었으며, 의복에 비해 체표에서의 변화율이 크고, 넓은 범위에 분포하는 것으로 분석되었다. 특히, 가슴둘레 윗부분에서의 변화량은 의복에서 거의 나타나지 않았으나, 체표에서는 가슴둘레 윗부분에서의 변화량을 갖는 것으로 분석되었다. 체표 FD:5-9, BA:8-9, BB:8-9, BC:7-9, BD:5-8에서 수직 방향으로 30% 이상의 변화율을, 의복 FC:5-6, FD:5-8, BB:7-8, BC:7-8, BD:6-8에서 수직 방향으로 30% 이상의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. 또한, 체표 FC:5-7, FC:8-9, BA:4-5, BA:7-8, BB:4-5, BB:7-8, BC: 5-7, BD:4-5, BD:8-9에서 수직 방향으로 20~30%의 변화량을 갖는 것으로 분석되었으며, BA-BB:1에서는 수평 방향으로 20~30%의 변화량을, BC-BB:7-8, BC-BD:7-8, BD-BC:7-8에서는 대각선 방향으로 20~30%의 변화량을 갖는 것으로 분석되었다. 의복 FB:5-6, FC:6-7, BA:7-8, BB:6-7, BC:5-6, BD:4-6에서 수직 방향으로 20~30%의 변화량이 나타났으며, FC-FD:4에서는 수평 방향

으로 20~30%의 변화량을 갖는 것으로 분석되었다.

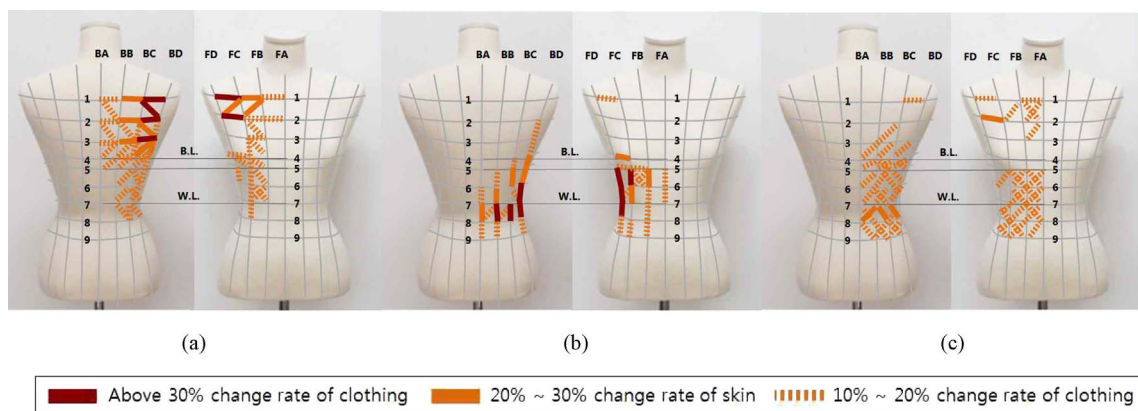
Rotation of the spine 동작에서는 체표 및 의복 모두에서 대각선 방향으로 변화 양상이 나타났는데, 체표 및 의복 모두 30% 이상의 큰 변화율을 갖는 부위는 없는 것으로 분석되었다. 체표 FB-FA:7-8, BB-BA:5-6, BC-BB:7-8, BD-BC:7-8에서 대각선 방향으로 20~30%의 변화량을 갖는 것으로 분석되었으며, 의복 FC-FD:2에서 수평 방향으로 20~30%의 변화율을, BB-BA:7-8, BB-BC:7-8, BC-BD:7-8에서 대각선 방향으로 20~30%의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. 체표와 의복변화를 비교·분석한 결과, 가슴둘레 아래 부분에서 체표의 변화와 반대 방향으로 의복변화량이 나타났으며, 이는 남성피험자와 마찬가지로 체표의 당김으로 인해 반대 방향으로 의복의 신장이 나타난 것으로 분석된다.

4.2. 동작 잡음 최소화를 위한 10% 미만의 체표 및 의복 변화 위치



(a) Body surface change of arm-motions, (b) Body surface change of side flexion and bending/Forward flexion and bending motions, (c) Body surface change of rotation of the spine motions

Fig. 9. Change rate of body surface in female subjects.



(a) Clothing surface change of arm-motions, (b) Clothing surface change of side flexion and bending/Forward flexion and bending motions, (c) Clothing surface change of rotation of the spine motions

Fig. 10. Change rate of clothing surface in female subjects.

동작에 따른 체표변화율과 의복변화율을 구역별로 비교하여 모든 동작에서의 10% 미만의 체표 및 의복변화율을 갖는 부위를 분석하여 제시하였다. 이는 모든 동작에서의 10% 미만의 체표 및 의복변화율을 보이는 구역은 의복과 체표간의 이격이 최소화되는 부위로 동작 잡음의 영향에 대해 비교적 적게 작용할 것으로 예상되어 해당 부위를 분석·제시하였다.

4.2.1. 동작 잡음 최소화를 위한 남성의 10% 미만 체표 및 의복 변화 위치

남성피험자의 경우, 가슴둘레 윗부분에서는 수직 및 대각선 방향으로 10% 이하의 체표변화율을 갖는 부위가 넓게 분포되는 것으로 나타났으며, 가슴둘레 아래부위에서 수평 및 대각선 방향으로 전 동작에서 10% 이하의 체표변화율을 갖는 부위가 넓은 것으로 분석되었다. 세부적인 체표변화를 분석한 결과, FA:1-9, FB:1-3, BA:1-7, BB:1-2, BB:3-4, BC:1-3, BD:1-2에서 수직 방향으로 10% 이하의 변화율이 나타났으며, FA-FB:5, FA-FD:6, FA-FD:7, FA-FB:8, FC-FD:8, FA-FD:9, BB-BD:5, BB-BD:6, BB-BC:7, BB-BD:8, BA-BD:9에서 수평 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. FB-FA:1-2, FC-FB:1-2, FD-FC:1-2, FD-FC:2-3, FC-FD:2-3, FA-FB:3-4, FA-FB:4-5, FA-FB:5-6, FA-FC:6-8, FB-FA:6-7, FA-FB:7-8, FB-FA:7-8, FA-FB:8-9, FB-FA:8-9, FC-FB:8-9, BC-BD:3-4, BB-BD:3-5, BB-BD:4-6, BA-BD:4-7, BA-BC:5-7, BB-BC:7-8, BA-BC:7-9에서는 전 동작에서 대각선 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다.

의복변화율을 세부 분석한 결과, FC:1-2, FD:1-3, FB:3-4, FC:3-5, FA:4-5, FA:6-7, FD:5-6, BA:1-4, BA:5-9, BB:1-5, BC:1-3, BD:1-2에서 수직 방향으로 전 동작에서 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었으며, 체표의 변화와 유사한 양

상을 갖는 것으로 분석되었다. FC-FD:3, FA-FC:5, FA-FD:6, FA-FB:7, FA-FD:8, FA-FD:9, BB-BD:5, BA-BD:6, BA-BC:7, BA-BC:8, BA-FD:9에서 수평 방향으로의 10% 이하의 변화율을 보였으며, FB-FA:1-2, FC-FB:1-2, FD-FC:1-2, FD-FC:2-3, FC-FD:2-3, FA-FB:3-4, FA-FB:4-5, FA-FB:5-6, FA-FB:6-7, FA-FB:7-9, FA-FB:8-9, FB-FA:8-9, FC-FB:8-9, BA-BD:1-4, BB-BD:1-3, BA-BC:2-4, BA-BB:3-4, BA-BB:4-5, BC-BD:5-6, BA-BC:5-7, BA-BB:6-7, BA-BB:7-8에서 대각선 방향으로 10% 이하의 의복변화율을 갖는 것으로 분석되었다.

4.2.2. 동작 잡음 최소화를 위한 여성의 10% 미만 체표 및 의복 변화 위치

여성피험자의 전 동작에서 10% 이하 체표 및 의복변화율을 갖는 부위를 분석한 결과 남성피험자와 마찬가지로 가슴둘레 아래부위에서 수평 방향으로의 10% 이하의 변화율이 넓은 범위에서 나타났다. 그러나, 남성피험자에 비해 가슴둘레 윗부분에서 수평 및 대각선 방향으로 10% 이하의 변화율과 가슴둘레 아래부위에서는 수평 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 부위가 넓게 나타나 남성피험자에 비해 동작 시 체표 및 의복의 변화가 적은 것으로 분석되었다. 체표 FA:1-2, FA:3-5, FB:3-5, FC:1-5, BA:1-4, BB:1-3, BC:1-2, BD:1-2에서 수직 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었으며, FB-FC:2, FA-FC:3, FA-FC:4, FA-FD:5, FA-FD:6, FA-FD:7, FA-FB:8, FA-FB:9, BA-BD:4, BA-BD:5, BC-BD:6, BB-BD:7, BA-BD:8, BA-BD:9에서 수평 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. 체표 FB-FA:1-2, FC-FA:1-3, FD-FA:1-4, FD-FC:2-4, FB-FD:2-4, FB-FC:3-4, FB-FA:6-7, FA-FB:6-7, FD-FC:7-8, FC-FB:7-8, FA-FB:7-8, BC-BD:2-3, BC-BD:3-4, BD-BD:3-4, BC-BD:5-6, BA-BB:6-7, BB-BC:6-7, BC-BD:6-7, BA-BB:7-8, BD-BC:8-9 부위에서 대각선 방향으로

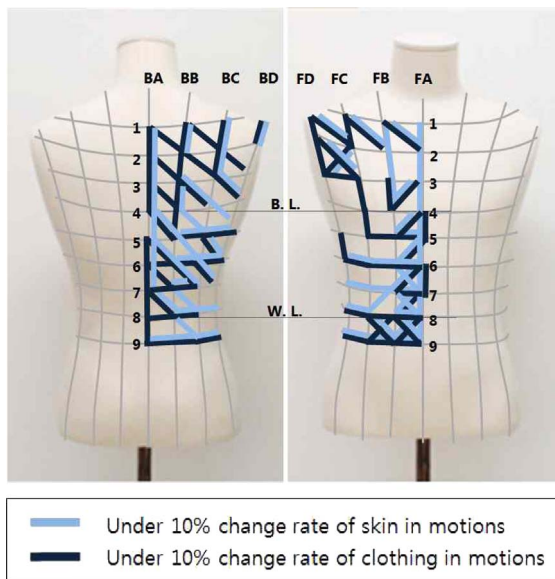


Fig. 11. Under 10% change rate of Body and clothing surface in male.

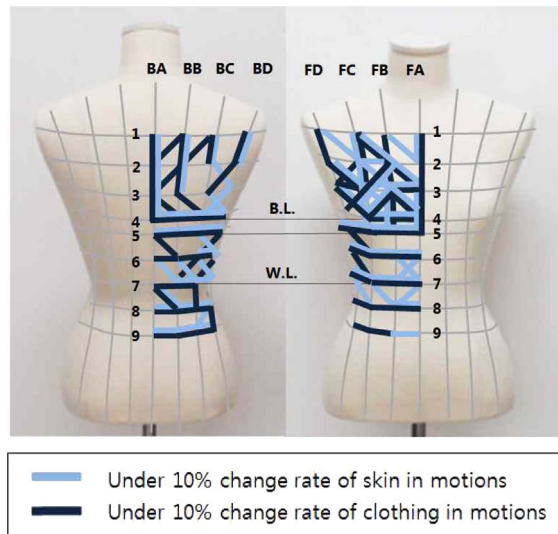


Fig. 12. Under 10% change rate of body and clothing surface in female.



10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. 의복에서 10% 이하의 변화율을 갖는 부위를 세부 분석한 결과, FA:1-5, FB:1-5, FC:1-3, FD:1-2, BA:1-4, BB:1-3, BC:1-2, BD:1-2, BC:7-8, BD:8-9에서 수직 방향으로 10% 이하의 변화율이 나타났으며, FA-FB:3, FC-FD:3, FA-FC:4, FA-FD:5, FA-FD:6, FA-FD:7, FA-FD:8, FB-FD:9, BA-BB:4, BA-BD:5, BA-BD:6, BA-BC:7, BA-BD:8, BA-BD:9에서 수평 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다. FC-FA:1-3, FD-FC:2-3, FD-FC:3-4, FB-FD:2-4, FB-FC:3-4, FB-FA:3-4, FD-FC:5-6, FD-FC:6-7, BD-BC:2-3, BC-BA:1-3, BB-BA:1-2, BA-BB:3-4, BA-BB:7-8, BA-BB:5-6, BD-BB:5-7, BD-BC:6-7, BA-BB:7-8에서는 대각선 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었다.

4.3. 동작 잡음 최소화를 위한 체표 및 의복변화율 일치 부위

동작에 따른 체표와 의복변화율 및 변화 방향이 일치하는 위치는 의복에 부착된 전극이 체표의 움직임과 유사한 움직임을 보여 동작 시 체표와 의복간의 마찰과 이격을 최소화할 수 있어 동작 잡음이 최소화되는 부위로 심전도 측정 전극 적합 위치로 볼 수 있다. 따라서 체표와 의복변화율의 범위가 일치하는 부위 및 체표와 의복에서 변화율 10% 이하를 갖는 부위를 도출하고 제시하였다. 앞선 결과들을 종합하여, 한 블록을 둘러싸고 있는 6부위 중, 4부위 이상에서 체표와 의복의 변화율이 일치하는 부위를 도출하고, 이 부분을 기준으로 임상적 심전도 센싱 위치(Fletcher et al., 2001)와 비교하여 최종적으로 심전도 모니터링 전극의 최적 위치를 도출하였다.

4.3.1. 동작 잡음 최소화를 위한 남성의 체표 및 의복변화율 일치 부위

동작에 따른 체표와 의복변화율이 일치하는 부위를 분석한 결과, 앞부분에서는 FC-FD:4-5, FC-FD:5-6, FA-FB:8-9에서 4군데 이상의 체표-의복변화율 일치를 보이는 것으로 나타났으며, 뒷부분에서는 BB-BC:3-4, BB-BC:5-6, BC-BD:5-6, BB-BC:6-7, BC-BD:6-7에서 4군에 이상의 체표-의복변화율 일치를 갖는 것으로 나타났다. 남성의 경우 앞부분에서 보다 뒷부분에서의 변화율의 일치도가 높은 것으로 나타났으며, BC-BD:5-6, BB-BC:6-7, BC-BD:6-7에서는 6부위 중 5부위에서의 체표-의복 변화의 높은 일치율을 보이는 것으로 나타났다.

체표-의복변화율의 일치도가 높은 부위 중 심전도 측정 위치(Fletcher et al., 2001)와 비교·분석해 본 결과, 4-5라인은 심장 근처에 위치하고 있어 심전도 모니터링이 가능한 부위이나, 인체의 굴곡이 위치하는 부위(Cho et al., 2015a)로 심전도 모니터링 의류에서의 측정 적합부위에서 제외하였다.

인체의 굴곡에 영향을 받지 않으면서 체표와 의복의 변화율 일치도와 심전도 임상 측정 적합 부위를 종합 분석한 결과, FC-FD:5-6, FA-FB:5-6 및 BC-BD:5-6, BB-BC:5-6 부위가 가장 적합한 전극 위치로 도출되었다. 이는 체표변화 연구(Cho et al., 2015a)에서의 결과와 유사한 결과이나, 체표변화 연구에 비해 심전도 모니터링 적합 위치의 범위가 넓게 도출되었는데, 이는 단순히 체표의 변화량이 적은 부위의 도출이 아니라 의복과 체표의 변화율이 일치하는 부위까지 확장·분석하여 심전도 측정에 적합한 위치의 범위가 넓어진 것으로 사료된다.

4.3.2. 동작 잡음 최소화를 위한 여성의 체표 및 의복변화율

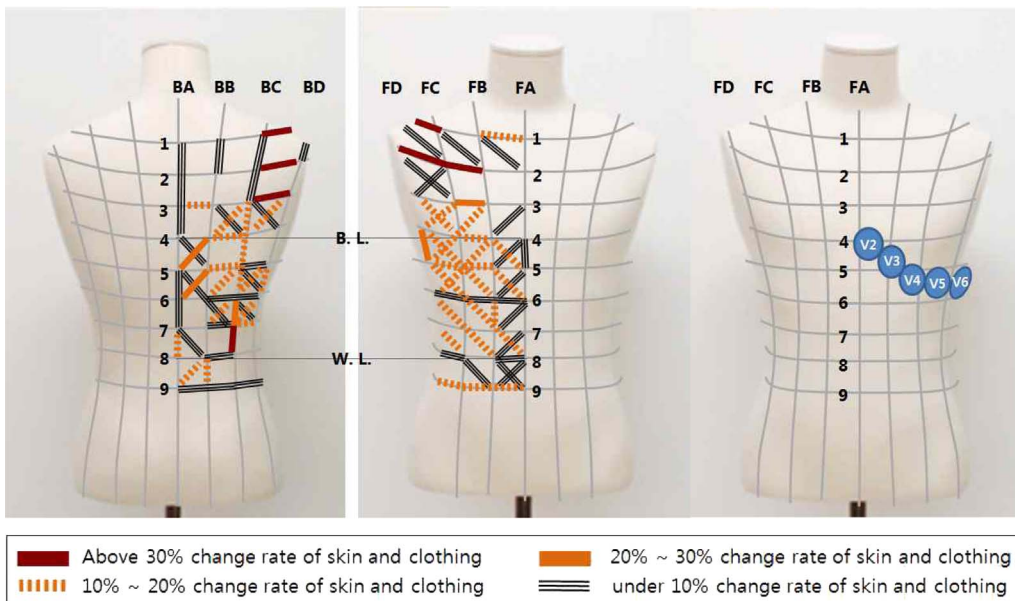


Fig. 13. Area of the equal change rate of body and clothing in male(left, middle), Area of the ECG sensing in clinical environment(Fletcher et al., 2001; right).



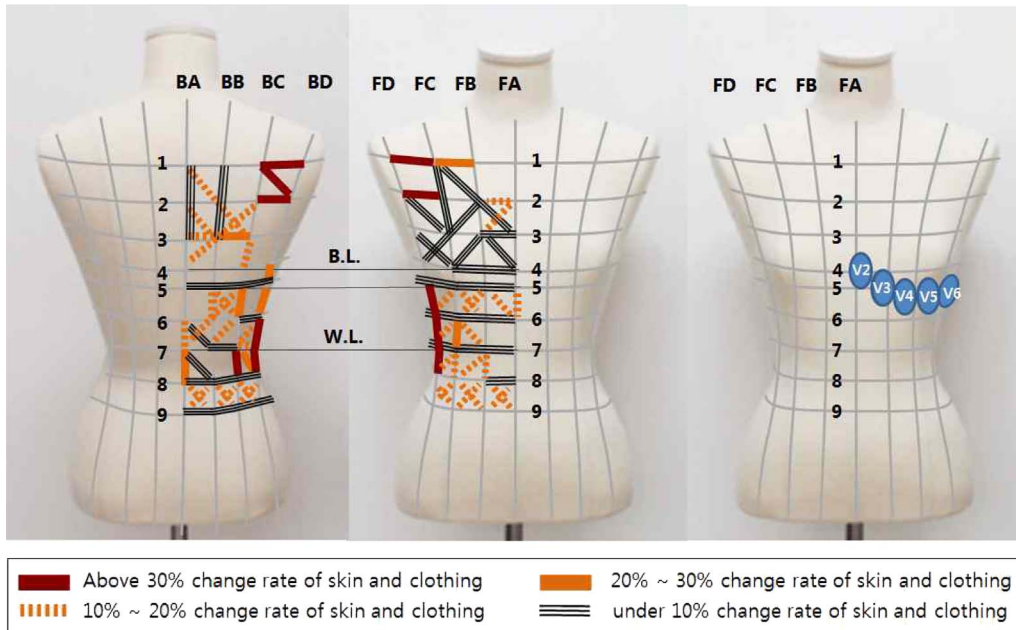


Fig. 14. Area of the equal change rate of body and clothing in female(left, middle), Area of the ECG sensing in clinical environment(Fletcher et al., 2001; right).

일치 부위

여성피험자의 동작에 따른 체표와 의복변화율의 일치성을 분석한 결과, 4군데 이상의 일치율을 보이는 부분은 FA-FB:2-3, FA-FB:5-6, FB-FC:5-6, FC-FD:5-6, FB-FC:6-7, FC-FD:6-7, FA-FB:8-9, BB-BC:2-3, BB-BC:5-6, BC-BD:7-8, BA-BB:8-9, BB-BC:8-9, BC-BD:8-9로 분석되었다. 여성피험자의 경우 남성피험자에 비해 체표-의복변화율이 일치하는 범위가 넓은 것으로 분석되었으며, BB-BC:5-6의 한 부위에서만 5군데의 일치율을 보이는 것으로 분석되었다. 체표-의복변화율이 일치하는 범위를 기반으로 임상적 심전도 측정 전극부위와 비교한 결과, 의복 앞부분에서는 FA-FB:5-6, FB-BC:5-6, 뒷부분에서는 BB-BC:5-6이 심전도 모니터링 전극 적합 위치로 분석되었다. 이는 체표 변화의 선행연구(Cho et al., 2015a)와 일치하는 결과이다.

5. 결 론

본 연구는 심전도 모니터링 의류를 위한 전극 위치를 위하여 체표변화율과 의복변화율의 일치도가 높은 부분을 동작 잡음을 최소화하는 위치로 도출하고, 임상적 심전도 측정 위치와 비교·분석하여 심전도 모니터링 의복을 위한 최적의 전극 위치로 제시하였다.

그 결과, 남성의 팔 동작에서는 체표 및 의복 변화 모두 가슴둘레 윗부분에서 수평 방향으로의 변화율이, 가슴둘레 아래부위에서 대각선 방향으로의 변화율이 두드러진 것으로 나타났다. 몸통 동작에서는 체표와 의복 변화가 유사하게 나타났으나, 일부 동작에서는 체표와 반대되는 대각선 방향으로 의복 변화

양상을 보이는 것으로 나타났는데, 이는 Rotation 동작 시 체표의 변화율이 커지면서 의복에서 반대 방향으로의 당김 현상으로 인한 결과로 사료된다.

또한, 체표 및 의복의 10% 이하 변화량을 갖는 부위를 분석한 결과, 남성피험자의 경우, 가슴둘레 윗부분에서는 수직 방향으로의 10% 이하의 체표변화율을 갖는 부위가 넓게 분포되는 것으로 나타났으며, 가슴둘레 아래부위에서 수평 및 대각선 방향으로 전 동작에서 10% 이하의 체표변화율을 갖는 부위가 넓은 것으로 분석되었다.

여성의 경우 팔 동작에서 남성의 경우와 유사하게 가슴둘레 윗부분에서 수평 방향으로의 변화가 체표 및 의복에서 관찰되었으며, 몸통 동작에서는 수직 및 대각선 방향으로의 변화가 나타나는 것으로 분석되었다. 여성피험자에서도 남성피험자의 결과와 마찬가지로 몸통의 Rotation 동작 시 체표와 의복간의 반대 대각선 방향으로의 변화 양상은 체표의 변화에 따른 의복의 당김 현상에 의한 결과로 보여진다.

여성피험자에 있어 모든 동작에서 10% 이하의 체표 및 의복변화율을 갖는 부위를 분석한 결과 남성피험자와 마찬가지로 가슴둘레 아래부위에서 수평 및 대각선 방향으로 10% 이하의 변화율을 갖는 것으로 분석되었으며, 전체 동작에 있어 남성피험자에 비해 체표 및 의복변화율이 적은 것으로 분석된다.

앞선 결과들을 종합하여, 체표와 의류의 변화율 범위가 일치하는 부위를 분석하고, 임상적 심전도 측정 위치와 비교하여 심전도 모니터링 최적의 부위를 도출하여 제시하였다. 남성피험자에서는 체표-의복 변화 일치율 및 심전도 측정 위치를 고려해보았을 때, 선행 체표연구(Cho et al., 2015a)에서와 유사한

위치인 앞가슴둘레 아래부위 및 견갑골 아래부위인 FC-FD:5-6, FA-FB:5-6 및 BC-BD:5-6, BB-BC:5-6 부위가 가장 적합한 위치로 도출되었다. 여성피험자 분석 결과 의복 앞부분에서는 FA-FB:5-6, FB-BC:5-6, 뒷부분에서는 BB-BC:5-6이 심전도 모니터링 센서 적합 위치로 분석되었으며, 선행 체표연구와 유사한 결과를 보였다.

본 연구에서는 동작 시 나타나는 동작 잡음의 근본적 원인인 체표 및 의복의 변화를 분석하여 심전도 모니터링 의류를 위한 최적의 전극 위치를 제시하였다는 점에서 연구의 의의를 갖는다. 그러나, 본 연구에서는 대표 동작에 한정지어 체표 및 의복 변화를 산출하여 추후 좀 더 넓은 범위의 동작에서의 체표 및 의복의 변화를 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구의 피험자 집단은 20대 평균체형을 갖는 적은 수의 피험자를 통해 결론을 도출하여 전 연령, 전 체형에서의 적합 위치로 일반화하기에는 무리가 있으므로 심전도 측정 목적에 따른 다양한 연령 및 체형으로 확대된 심전도 전극 적합 위치의 연구가 요구된다. 또한, 본 연구에서 제시된 심전도 전극 적합 위치는 심전도 측정 위치를 위한 체표와 의복의 변화량에 기반한 것으로 심전도 측정 전극의 특성 및 크기 등에 따른 신호 정확성 및 안정성에 대한 실증적 연구가 요구된다.

## References

- Cho, H. K., & Cho, S. W. (2015a). A study of sensing location for ECG monitoring based on the skin change rate. *Fashion & Textile Research Journal*, 17(5), 844-893. doi:10.5805/SFTI.2015.17.5.844
- Cho, H. K., & Lee, J. H. (2015b). A study on the optimal positions of ECG electrodes in a garment for the design of ECG-monitoring clothing for male. *Journal of Medical Systems*, 39(9), 1-14. doi:10.1007/s10916-015-0279-2
- Cho, H. K., Song, H. Y., Cho, H. S., Goo, S. M., & Lee, J. H. (2010). A study on the design of functional clothing for vital sign monitoring - Based on ECG sensing clothing. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 13(3), 467-474.
- Cömert, A., Honkala, M., & Hyttinen, J. (2013). Effect of pressure and padding on motion artifact of textile electrodes. *Biomedical Engineering Online*, 12(1), 26. doi:10.1186/1475-925X-12-26
- Finlay, D. D., Nugent, C. D., Donnelly, M. P., McCullagh, P. J., & Black, N. D. (2008). Optimal electrocardiographic lead systems: practical scenarios in smart clothing and wearable health systems. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 12(4), 433-441. doi:10.1109/TITB.2007.896882.
- Fletcher, G. F., Balady, G. J., Amsterdam, E. A., Chaitman, B., Eckel, R., Fleg, J., Froelicher, V. F., Leon, A. S., Pina, I. L., & Bazzarre, T. (2001). Exercise standards for testing and training a statement for healthcare professionals, the American heart association. *Circulation*, 104(14), 1694-1740. doi:10.1161/hc3901.095960
- Jang, S. E. (2006). *Effect of fabric elasticity and body movement on performance of electrocardiogram signal monitoring clothing*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Jeong, Y. H., Kim, S. H., & Yang, Y. M. (2010). Development of tight-fitting garments with a portable ECG monitor to measure vital signs. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 34(1), 112-125. doi:10.5850/JKST.2010.34.1.112
- Jeong, Y. H., & Yang, Y. M. (2012). Development of tight-fitting upper clothing for measuring ECG -A focus on weft reduction rate and subjective assessment-. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 36(11), 1174-1185. doi:10.5850/JKST.2012.36.11.1174
- Kang, D., Cho, H. K., Song, H. Y., Cho, H. S., Lee, J. H., Lee, K. H., Koo, S. M., Lee, Y. J., & Lee, J. W. (2008). A study on a prototype of ECG-sensing clothing based on textile electrode for lifestyle monitoring. *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 11(3), 419-426.
- Koo, H. R., Lee, Y. J., Gi, S., Khang, S., Lee, J. H., Lee, J. H., Lim, M. G., Park, H. J., & Lee, J. W. (2014). The effect of textile-based inductive coil sensor positions for heart rate monitoring. *Journal of Medical Systems*, 38(2), 1-12. doi:10.1007/s10916-013-0002-0
- Koo, H. R., Lee, Y. J., Gi, S., Lee, S. P., Kim, K. N., Kang, S. J., Lee, J. W., & Lee, J. H. (2015). Effect of module design for a garment-type heart activity monitoring wearable system based on non-contact type sensing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 39(3), 369-378. doi:10.5850/JKST.2015.39.3.369
- Koo, S. M. (2008). *A study on the design of re-modularized smart clothing for ECG-sensing*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Lee, Y. J. (2010). *Development of textile electrode measuring system for biopotential signals*. Unpublished master's thesis, Kunkook University, Chungjoo.
- Min, S. D., Yun, Y. H., Lee, H. S., Shin, H. S., Cho, H. K., Hwang, S. C., & Lee, M. H. (2010). Respiration measurement system using textile capacitive pressure sensor. *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers P*, 59(1), 58-63.
- Mohindra, R., Sapp, J. L., Clements, J. C., & Horáček, B. N. (2007, September). Use of body-surface potential mapping and computer model simulations for optimal programming of cardiac resynchronization therapy devices. *Proceeding of Conference of Computers in Cardiology* (pp. 69-72). Durham, North Carolina, US: IEEE. doi:10.1109/CIC.2007.4745423
- 'Motion capture system'. (2011, August 19). *Dooree system*. Retrieved from <http://www.dooreesystem.com/cafe/view.html>
- Ornato, J. P., Menown, I. B., Riddell, J. W., Carley, S., Mackway-Jones, K., Higgins, G. L., Peberdy, M. A., Kontos, M. C., Maynard, S. J., & Jennifer Adgey, A. A. (2002). 80-Lead body map detects acute ST elevation myocardial infarction missed by standard 12-lead electrocardiography. *Journal of the American College of Cardiology*, 39(s2), 332. doi:10.1016/S0735-1097(02)81492-9
- Self, W. H., Mattu, A., Martin, M., Holstege, C., Preuss, J., & Brady, W. J. (2006). Body surface mapping in the ED evaluation of the patient with chest pain: use of the 80-lead electrocardiogram system. *The American Journal of Emergency Medicine*, 24(1), 87-112. doi:10.1016/j.ajem.2005.04.008
- Sobieszczanska, M., Jaqielski, J., Nowak, B., Pilecki, W., & Kalka, D. (2007). Appraisal of BSPM obtained from the limited lead system. *The Anatolian Journal of Cardiology*, 7, 11-13.
- Song, H. Y., Lee, J. H., Kang, D., Cho, H., Cho, H. S., Lee, J. W., & Lee, Y. J. (2010). Textile electrodes of jacquard woven fabrics for biosignal measurement. *The Journal of the Textile Institute*, 101(8), 758-770. doi:10.1080/00405000903442086
- Tysler, M., Kneppo, P., Turzová M., Svehlíková J., Karas, S., Filipová,

- E., Háa, K., & Filipová S. (2007). Noninvasive assessment of local myocardium repolarization changes using high resolution surface ECG mapping. *Physiological Research*, 56, 133-141.
- Watkins, S. M. (1984). *Clothing: The portable environment*. Ames, IA: Iowa State University Press.
- Yu, J. A., Sun, Y., & Kim, K. J. (2012). Preparation of conductive nanoweb through electrospinning followed by electroless silver-

plating and its application as dry-type electrode for ECG measurement. *Textile Science and Engineering*, 49(1), 47-55. doi:10.12772/TSE.2012.49.1.047

(Received 10 November 2015; 1st Revised 5 December 2015; 2nd Revised 15 December 2015; Accepted 22 December 2015)

© 2015 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

---