

소재의 신축성이 직물 기반 심전도 모니터링 의복의 성능에 미치는 영향 Effect of Fabric Elasticity on Performance of Textile-based ECG-monitoring Smart Wear

조자영, 장세은, 조길수
연세대학교 의류환경학과

ABSTRACT

본 연구는 직물 기반 바이오 모니터링 스마트 의류를 개발하기 위해 의복 소재의 신축성에 따른 심전도 신호 검출 성능과 착용 성능을 평가하여 직물 기반 심전도 의복을 위한 최적 범위를 제안하고자 한다. 이를 위해, 서로 다른 신축률의 편물을 얻기 위해 면/폴리에스테르에 스판덱스 함유율을 0%, 5%, 8%로 다르게 하여 제작하였다. 이 세 가지 소재로 심전도 측정을 위해 동일한 사이즈로 의복을 제작한 후, 금속사를 이용한 자수 기법으로 심전도 전극을 설치하였다. 심장 관련 병력이 없고 평균 BMI가 20~24인 정상 체중의 5명을 대상으로 Biopac MP150을 사용하여 심전도 신호를 검출한 후, 설문지를 사용하여 소재의 신축성에 따른 착용성 평가를 시행하여 신축성에 대한 만족감, 동작용이성, 전반적 쾌적함 등을 Likert 7점 척도로 평가하도록 하였다. 실험 결과, 심전도 신호 검출 성능 측면에서는 8% 라이크라 함유 소재가 가장 우수하였으나, 착용성 측면에서는 5% 소재가 가장 우수한 것으로 파악되었다. 향후 그 수요가 높아질 것으로 예상되는 바이오 모니터링 의복 소재 개발을 위해 기능성과 착용성을 모두 고려한 본 연구 결과가 유용하게 활용될 것이다.

Keyword : 스마트 의류, 직물 기반 전극, 심전도, 신축성, 착용성, BMI

1. 서론

최근 건강에 대한 관심의 고조와 건강한 신체를 유지하고자 하는 욕구가 커짐에 따라 착용자의 호흡이나 심장 박동수 등과 같은 각종 생체 신호를 감지할 수 있는 바이오 모니터링 스마트 의류가 이러한 스마트 의류 시장 중 큰 부분을 차지할 것으로 예상된다[1,2,6] 바이오 모니터링 의복에 관한 연구는 최근 자신의 생체 신호를 지속적으로 측정함으로써 건강을 유지하고자 하는 욕구와 맞물려 여러 가지 방향에서 진행되었으나, 이들은 모두 의복으로도 신호의 측정이 가능한지의 여부와 이들을 통해 얻어진 실제 데이터와 일반적으로 가장 널리 사용되는 AgCl 전극과의 신호 유사성 등 정성적 접근만이 이루어진 상태이다. 특히 착용자가 이를 착용함에 있어서 활동상의 불편함을 느끼지 않는 최적의 의복 소재에 대한 탐구와 같은 의류학적인 접근은 전무한 실정이다. 바이오 모니터링 스마트 의류는 착용상태에서 인간의 건강을 체크하기 위한 시스템이기 때문에 단순히 의료용 목적뿐만 아니라, 착용하였을 때 불편함을 주지 않도록 의복의 착용 성능이 간과되어서는 안 된다.

따라서, 본 연구는 직물기반 전극이 내장된 심전도 모니터링 의복 개발을 위해, 신축율에 따른 의복의 신호 검출 성능과 착용성을 만족시키는 의복 소재를 제안하고자 한다.

2. 실험

2.1 시료

의류의 시료로서 동일한 종류와 두께의 원사로 편직된 환편 니트 3종이 사용되었다. 스판덱스가 함유되지 않은 면/폴리에스테르 혼방 소재 1종과 스판덱스가 각각 5%와 7% 함유된 소재이다. 시료의 자세한 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of specimen

Specimen	S-0	S-5	S-7
Fiber content (%)	Polyester 65 Cotton 35	Polyester 61 Cotton 34 Spandex 5	Polyester 60 Cotton 33 Spandex 7
Yarn type (S,D)	TC 30S	TC 30S spandex 30D	TC 30S spandex 30D
Thickness (mm)	0.959	1.173	1.527
Weight (g)	13.893	18.878	28.278
Elongation(%)	17.5	68.4	99.2

2.2 심전도 모니터링 의복 제작

심전도 신호의 효과적인 검출을 위해 몸에 꼭 맞는 남성용 민소매 속옷 형태로 심전도 모니터링 의복이 제작되었다. 동일한 사이즈로 제작된 세 벌의 의류 위에 스테인레스 스틸사를 자수 방식으로 의복의 가슴 부위에 직물 기반 전극을 처리하여 부착하였다. 제작된 의복 형태는 Figure 1과 같다[3,5].

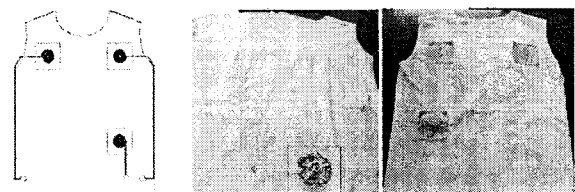


Figure 1. Developed ECG shirts

2.3 참여자

심전도 모니터링 의복의 착용성 평가를 위해 심장 병력이 없고 신체질량지수인 BMI(Body Mass Index)가 20~24의 정상범위에 속하는 신체 건강한 남성 5명을 실험 참여자로 선정하였다.

2.4 신호 검출 성능 및 착용성 평가 프로토콜

신축율이 서로 다른 심전도 모니터링 의복의 신호 검출 성능 및 착용성 평가 실험을 위해 전자파 차폐실에서 착용실험을 하였다. 심전도 모니터링 의복 3종을 5명의 참여자에게 무작위로 제시하여 착용하도록 하였다. 심전도 모니터링 의복 착용상태에서 5분간의 적응 시간을 가진 후 2분간 심전도 신호를 측정하였다. 신호 측정이 끝난 뒤 참여자들은 다음 의복을 착용하기 전 약 5분간의 휴식시간을 가졌으며, 이때 심전도 모니터링 의복의 착용성과 관련된 참여자들의 주관적인 의견들이 설문평가를 통해 수집되었다. 설문지는 착용한 의복의 신축성에 대한 만족감 정도, 조임 정도, 움직임의 용이함, 전극의 자극 여부, 전반적인 쾌적감 등의 항목으로 구성되었으며, Likert 7점 척도를 이용하여 평가되었다.

2.5 심전도 신호 측정 및 R-peak 검출율 산출

전극으로부터 추출된 심전도 데이터는 Biopac MP150을 통해 수집되었으며, 수집된 데이터의 분석 및 처리를 위해 생리신호분석 프로그램인 AcqKnowledge v3.7.3이 사용되었다. 신호 검출 성능을 정량적으로 파악하기 위하여 심전도 신호 중 가장 뚜렷하게 구분이 가능한 R-peak의 검출율을 토대로 60초간의 R-peak 횟수를 추정하며, 추정 횟수 대비 실제 60초간 실험자가 육안으로 인지할 수 있는 R-peak 횟수를 산출하여 이를 백분율로 나타내었다.

3. 결과

3.1 의복의 신축성에 따른 신호 검출 성능

의복의 신축성에 따른 신호검출률을 비교한 결과, S0은 71%, S5는 59%, S7은 83%로 나타나, S-7로 제작된 의복의 평균 R-peak 검출률이 세 가지 시료 중 가장 우수한 것으로 나타났다. S-0 의복의 경우, 신축성이 없기 때문에 BMI가 낮은 피험자의 경우 모니터링 성능이 낮았으나, 이들의 신호는 스판덱스의 함유율이 증가에 따라 R-peak 신호 검출율 역시 증가하여, S7에서의 신호검출률은 95% 이상으로 안정적인 신호 검출을 나타내었다.

3.2 의복의 신축성에 따른 착용성 평가

소재의 신축율에 따른 의복 착용성능을 ANOVA test를 이용하여 분석한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Result of ANOVA test of wearability and fabric elasticity

	S0	S5	S8	Sum of squares	df	Mean square	F
Elasticity satisfaction	3.2	6.4	5.8	57.867	2	28.933	26.392***
Overall tightness	4.6	4.6	5.8	9.600	2	4.800	4.909*
Tightness when moving	5.8	4.4	4.8	10.400	2	5.200	6.500**
Irritation of electrodes	4.0	5.8	4.4	1.867	2	.933	.409
Easiness of movement	2.8	3.2	3.4	17.867	2	8.933	5.025**
Overall comfort	3.4	5.2	4.8	17.867	2	8.933	4.863**

p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

신축율이 서로 다른 직물로 제작된 심전도 모니터링 의복의 전반적인 쾌적감(Overall comfort)에 대한 평가 결과, S-5로 제작된 의복에서 쾌적감이 가장 큰 것으로 나타났으며 통계적으로도 유의한 차이를 나타내었다(F=4.863, p<0.01). S-5로 제작된 의복은 신축성이 매우 적었던 S-0과 높은 스판덱스 함량으로 조임이 강한 S-7에 비해 인체에 대한 구속력이 적어 움직임에 가장 우수하게 평가된 것으로 사료된다.

3.3 반응표면분석을 통한 최적 의복 소재 조건 탐색

신호 검출율이 크게 저해되지 않으면서 전반적인 쾌적감이 우수한 적정 수준의 스판덱스 함유율을 조사하고자 등고선 도표를 이용한 반응표면분석을 실시하였다..

Figure 2는 전반적 쾌적감을 높일 수 있는 조건을 고찰하기 위해 R-peak 검출율과 스판덱스의 함유율간의 영역을 나타낸 등고선 그래프이다. R-peak 검출율을 약 95% 이상이면서 5점 이상의 우수한 쾌적감을 얻기 위한 스판덱스의 함유율은 약 4.0~4.6% 정도인 것을 알 수 있다. 또한, 스판덱스의 함량이 약 5.5% 이상일 때에는 전반적 쾌적감은 매우 우수하고 62~75% 수준의 R-peak 검출율을 얻을 수 있었다(빗금친 영역). 그러나 심전도 모니터링 의복의 신호검출률과 의복 쾌적감 모두를 고려하였을 때 최적 조건은 4~4.6% 가량의 스판덱스 함유율이라 할 수 있다. Figure 3은 우수한 R-peak 검출율을 얻기 위한 스판덱스의 함유율과 실험 참여자의 체질량지수인 BMI의 영역을 나타낸 등고선 그래프이다. 그림의 빗금친 영역은 검출율이 80~100%인 영역을 나타낸 것으로, 참여자의 BMI 지수가 22.5 이하일 경우 우수한 검출율(>80%)을 얻기 위해서는 스판덱스의 함유율 6.4% 이상이 바람직한 것으로 나타났다. 피험자의 BMI 지수가 22.5 이상일 경우 스판덱스의 함유율이 0.5% 이하에서도 우수한 검출율을 얻을 수는 있으나, 이 경우 착용 성능이 저하하므로 최적 조건이라 할 수 없다.

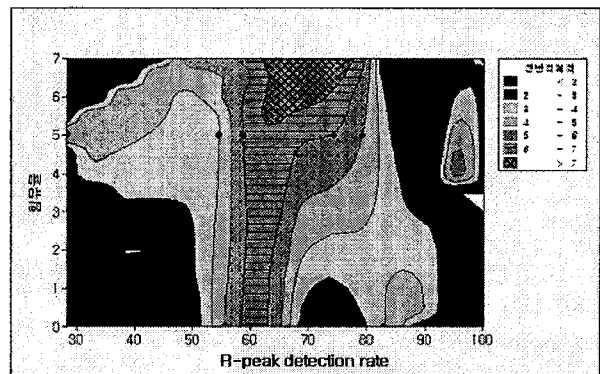


Figure 2. Contour plot for R-peak detection rate on Spandex contents and overall comfort

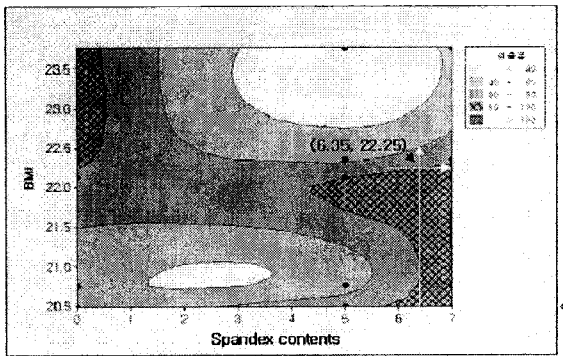


Figure 3. Contour plot for R-peak detection rate on Spandex contents and BMI

4. 결론

본 연구에서는 소재의 신축성 정도에 따른 심전도 모니터링 의복의 성능 평가 및 착용성 평가를 통해 그동안 이루어지지 않았던 의류학 측면에서의 심전도 모니터링 의복에 대한 연구와 더 나아가 향후 그 수요가 높아질 것으로 예상되는 바이오 모니터링 의복 소재의 개발에 도움을 주고자 하였다. 심전도 신호의 검출 성능이 우수하면서도 쾌적감이 저해되지 않는 의복 소재의 제언을 위해 등고선 도표를 이용한 반응표면 분석을 실시한 결과, R-peak 검출율 80% 이상을 얻기 위해서는 피험자의 체질량 지수가 22.5이하일 경우 스판덱스의 함유율이 6.35% 이상으로 조절하는 것이 바람직할 것으로 파악되었다. 또한 95% 가량의 매우 우수한 R-peak 검출율과 5점 이상의 우수한 쾌적감을 얻기 위한 의복 소재 조건은 스판덱스 함유율 약 4~4.6% 정도였다.

본 연구의 제한점 및 후속연구에 대한 제언은 다음과 같다. 여성 피험자에 대한 연구 및 다양한 연령대와 체형의 피험자를 대상으로 연구를 확대시켜야 할 필요가 있다. 본 연구에서 전극 제작 방법으로 택한 자수 방식 이외의 다양한 전극 제작 방법에 대한 연구를 통해 우수한 착용성과 더욱 안정적인 신호검출방식을 조사할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 김은선, 박동운, 손종구, 모바일 헬스케어 Major Player들의 시장기회 분석, 한국과학기술정보연구원, 2004.
- [2] 미래 일상생활용 스마트 의류 기술 개발에 관한 산업분석, 산업자원부, 2004.
- [3] 전태원, 『운동과 스포츠 생리학 실험법』, 무지개사, 2005.
- [4] D. Rossi, F. Carpi, F. Lorussi, A. Mazzoldi, R. Paradiso, E. Pasquale Scilingo, A. Tognetti, Electroactive fabrics and wearable biomonitoring devices, AUTEX Research Journal,3(4), 180-185, 2003.
- [5] L. E. Dunne, The design of wearable technology: addressing the human-device

interface through functional apparel design, Master thesis of Cornell University, 2004.

[6] R. Paradiso, G. Loriga, N. Taccini, A wearable health care system based on knitted integrated sensors, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 9(3), 337-344, 2005.

감사의 글

본 과제는 산업자원부 중기거점기술개발사업 "미래 일상생활용 스마트 의류 기술 개발" 과제의 지원으로 연구되었습니다.