

동작에 따른 피부변화 분석을 통한 동작센서 부착의 최적위치 탐색: 조정 동작을 중심으로

An Exploratory Study of Searching Human Body Segments for Motion Sensors of
Smart Sportswear: Focusing on Rowing Motion

한보람* · 박선형** · 조현승*** · 강복구**** · 김진선* · 이주현***** · 김한성**** · 이해동*****†
Bo-Ram Han* · Seonhyung Park** · Hyun-Seung Cho*** · Bokku Kang**** · Jin-Sun Kim* ·
Joohyeon Lee***** · Han Sung Kim**** · Hae-Dong Lee*****†

*연세대학교 대학원 체육학과

*Department of Physical Education, Graduate School of Yonsei University

**중부대학교 패션디자인학과

**Department of Fashion Design, Joongbu University

***연세대학교 심바이오틱라이프텍연구원

***Institute of Symbiotic Life-TECH, Yonsei University

****연세대학교 의공학과

****Department of Biomedical Engineering, Yonsei University

*****연세대학교 의류환경학과

*****Department of Clothing & Textiles, Yonsei University

*****연세대학교 교육과학대학 체육교육학과

*****Department of Physical Education, College of Science in Education, Yonsei University

Abstract

Lots of interdisciplinary studies for fusion of high technologies and the other areas of research had been tried in these days. In sports training area, high technologies like a vital sign sensor or an accelerometer were adopted as training tools to improve the performance of the sports players. The purpose of this study is finding the proper locations on the human body for attaching the motion sensors in order to develop a smart sportswear which could be helpful in training players. The rowing was selected as a subject sport as lots of movements of the joint on human body could be seen in rowing motions. The players of rowing could be divided into two weight divisions, the lightweight and the heavyweight. In this study, the change rates of distance between markers on human skin as the players moved were taken on the back, the elbow, the hip and the knee area on human body by 3D motion

※ 본 연구는 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업(S072014112014)에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었음.

† 교신저자 : 이해동 (연세대학교 교육과학대학 체육교육학과)

E-mail : xbridge1997@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-6188

FAX : 02-2123-8375

capturing system. The distances between markers and the differences between the lightweight and heavyweight were analyzed. Finally, this study provided the guide lines for designing a motion sensing smart sportswear.

Key words: Motion Capturing, Human Motion Sensing, Rowing Motion, Smart Sportswear

요 약

하이테크놀로지를 여러 가지 다른 영역과 융합하고자 하는 노력이 다양한 연구 분야에서 시도되고 있으며, 스포츠웨어를 개발함에 있어 운동선수의 운동능력을 향상시키기 위한 분야에 이러한 첨단 기술들이 도입되고 있다. 본 연구는 스포츠 훈련에 도움이 되는 동작 센싱 스마트 스포츠웨어를 개발하기 위한 기초 연구로서, 조정 동작 시 관절의 움직임 을 측정할 수 있는 동작 센서를 부착하기 위한 인체상의 최적 위치를 탐색하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 일관된 동작을 반복적으로 수행할때 관절의 변화가 큰 조정을 대상 스포츠로 선정하였으며, 조정 선수의 대표 체급인 중량급과 경량급의 피험자를 선정하여 동작에 따른 피부의 변화율을 측정하여 체급별 차이를 분석하였다. 먼저, 3차원 모션캡처 시스템을 이용하여 조정 동작 시 등, 팔꿈치, 엉덩이, 무릎 부위의 피부 변화를 촬영하고, 각 마커 간 거리의 변화율을 분석함으로써 체급에 따른 차이를 보이지 않으면서 동작에 따라 피부의 변화가 큰 부분을 인체 상에 도시하였다. 이를 바탕으로 동작 센싱용 스마트 스포츠웨어를 위한 센서 부착의 가이드라인을 제시하였다.

주제어: 모션캡처, 인체동작 센싱, 조정동작, 스마트 스포츠의류

1. 서론

현대 기술의 급진적 발전은 3차원 영상 촬영 기술을 제품 설계에 접목하고자 하는 노력으로 파급되고 있으며, 특히 스포츠웨어와 같이 기능성이 강조되는 의류에 있어서는 스포츠 활동에 도움이 되고, 착용자의 안전 및 능력 향상을 능동적으로 지원할 수 있는 디자인을 개발하기 위해 이러한 새로운 기술을 적극적으로 도입하고 있다.

새로운 기술 중 생체신호를 분석하여 이를 스포츠 능력 향상에 적용하고자 하는 동향이 다양한 연구로 진행되고 있다. 심전도(ECG, electrocardiography), 근전도(EMG, electromyography), 호흡, 체온 등의 여러 가지 생체 신호 감지 센서를 스포츠웨어에 탑재하여 착용자의 스포츠 활동 시 인체 변화를 측정·기록하여 경기력을 향상시키는 도구로 개발하기 위한 노력이 진행되고 있다. 인체 동작을 감지하거나 분석하기 위해서는 가속도센서(accelerometer)나 자이로센서(gyroscope) 등 다양한 종류의 센서를 인체 각 부위에 부착하여 움직임을 측정하려는 연구도 이루어지고 있다.

본 연구는 관절 변화를 측정할 수 있는 새로운 형태의 직물형 탄성센서(strain sensor)를 부착하기 위한 인체 상 최적 위치를 알아내는 것을 목적으로 한다. 직

물형 탄성센서는 길이가 늘어나고 줄어듬에 따라 전기 저항이 변화하는 원리를 이용한 것으로 동작센서로 사용하기 위해서는 동작에 따라 길이 변화가 큰 부위에 부착하는 것이 중요하다(Yamada et al., 2011). 이러한 직물형 탄성 센서는 의복에 부착되어 동작을 센싱하는데, 의복은 일반적인 근육의 변화와 연관되어 늘어나기는 하나, 동작에 따른 피부 변화와 보다 밀접한 연관이 있다. 직물형 동작센서는 피부의 변화량이 큰 부위에 피부 변화 방향을 고려하여 부착되어야 보다 효율적인 센싱이 가능하다는 특징이 있다.

따라서, 본 연구에서는 일관된 동작을 반복적으로 수행하면서도 관절각을 많이 움직이는 대표적인 스포츠로 조정을 선정하고, 조정 동작에 따른 체표의 변화를 분석하여 센서 부착의 최적 위치를 도출하였다. 본 연구의 세부 목표는 첫째, 조정 동작에 따른 각도 변화가 큰 부위인 팔꿈치, 무릎, 등, 엉덩이의 4개 부위에 피부 변화를 측정할 수 있도록 새로운 방법으로 마킹하고, 둘째, 조정 선수의 대표 체급인 중량급과 경량급의 두 그룹의 피험자를 3차원 모션캡처를 실시하고, 셋째, 측정 데이터를 통계 분석하여 인체 부위별 마커 간 거리의 변화율을 도출함으로써 체급 별 연속동작에 따른 체표 변화율을 비교하고, 마지막으로, 도출된 체표 변화율을 인체에 도시하여

체급에 따른 차이가 없는 부위를 동작 측정용 센서 부착의 최적 위치로 도출함으로써 동작센서를 배치하는 가이드라인을 제시하였다.

2. 3차원 동작분석

2.1. 3차원 동작분석의 개요

70년대 초반부터 사용되어 온 3차원 동작분석법은 현재 윈드(wind)를 이용하여 캘리브레이션(calibration)을 한 후 피험자가 최소한의 의복을 길이가 늘어나고 줄어들며 따라 마커(marker)와 클러스터(cluster)를 관절 등에 부착한 채 동작을 수행하여 이를 적외선 카메라가 촬영하게 된다. 마커는 작은 구형의 물체에 재귀 반사물질을 도포하여 빛이나 적외선을 반사시킴으로써 모든 방향에서 잘 보이도록 제작된 것으로 사이즈는 0.25-4cm까지 다양하다. 클러스터는 플라스틱판이나 막대에 2-4개의 마커를 부착한 것으로서 클러스터를 위팔, 아래팔, 몸통 등의 분절에 부착함으로써 클러스터에 부착된 마커들이 공간상에서 움직이는 상대적인 방향을 측정할 수 있다는 장점이 있어 동작분석 시 마커와 함께 사용되고 있다.

3차원 동작분석 시스템으로는 Motion Analysis (Motion Analysis, 미국), Elite (BTS spa, 이탈리아), OPTOTRAK CERTUS (Northern Digital Inc., 캐나다), VICON (Vicon Motion System, 영국), Qualisys (Qualisys AB, 스웨덴), Kwon3D (비솔, 한국) 등이 있다. 전 세계적으로는 Motion Analysis와 VICON이 가장 많이 사용되고 있으나 소프트웨어를 포함한 장비가 고가라는 단점이 있다. 본 연구에서는 VICON의 시스템을 사용하여 동작분석을 실시하였다.

2.2. 3차원 모션캡처를 이용한 동작분석 연구

인간의 활동은 두 개 이상의 뼈가 만나거나 접합되는 부위인 관절 주위에서 일어난다. 인체의 운동이 발생하는 뼈와 뼈의 연결부위인 관절은 연결 형태와 운동이 가능한 정도에 따라 움직임이 없고 서로 밀착되어 있는 머리뼈형 관절(섬유관절), 제한된 범위 내

의 운동이 허용되고 뼈끝사이에 약간의 간격이 있어 그 속에 연골이 들어 있는 척추형 관절(연골관절), 움직임이 매우 자유롭고 뼈끝 사이가 서로 서로 떨어져 있는 팔다리형 관절(윤활관절 또는 활막관절)로 구분된다. 움직임이 가장 자유롭게 이루어지는 윤활관절은 관절면 형태와 근육이 부착되어 있는 형태에 따라 운동영역이 결정되며, 관절에서 일어나는 운동을 나타내는 용어에는 굽힘(flexion), 펴기(extension), 벌림(abduction), 모음(adduction), 돌림(rotation), 옆침(pronation) 등이 있다.

동작 분석은 인간이나 동물, 기계 등과 같은 물체의 위치 및 움직임의 속도, 방향 등의 정보를 분석하는 것으로 일반의학, 재활의학, 정형외과 등의 분야에서 인공관절 평가 및 보행 분석(Cho et al., 2004) 등에 많이 사용되고 있다. 또한 태권도, 무용, 핸드볼, 양궁, 아이스하키 등과 같은 많은 스포츠 분야에서는 3차원 동작분석을 사용하여 운동 동작에 대한 특성을 평가(Lee et al., 2007)함으로써 경기력 향상에 도움을 주고 있다. 스포츠 동작들은 매우 빠르고 다양한 동작들이 연속적으로 일어나기 때문에 실행된 동작에 대한 정보는 보통 인간의 눈으로 정확히 평가하기 어렵다. 의복연구에서도 3차원 모션캡처 장비를 사용하여 마네킹의 표면과 의복의 접촉부위(Dunne et al., 2011), 인체의 동적인 동작의 관절가동범위를 분석하는 연구(Aitchison, 2012; Ryu & Park, 2000)와 3차원 스캔 데이터에서 추출된 치수정보를 활용하여 패턴을 제도하는 방법(Park et al., 2009)과 맞춤새 평가(Han et al., 2012)에서도 사용되고 있다.

본 연구에서 선정한 조정은 외부환경에 영향을 받는 야외경기로서 훈련은 실내외에서 실시된다. 실외에서는 시합과 비슷한 환경에서 연습을 진행하고, 실내에서는 로잉 에르고미터를 사용하여 조법을 훈련한다. 이때 사용하는 로잉 에르고미터는 동작분석을 실험에서도 사용되고 있다(Jeon et al., 2014).

3. 웨어러블 동작센서

현재까지 이루어진 대부분의 연구에서 웨어러블 형태로 적용 가능한 동작 인식용 센서로는 관성센서

(Inertial sensoers)를 사용하고 있다. 관성센서는 기본적으로 역각센서(force sensor)로서, 한쪽이나 혹은 여러 방향으로 선형의 가속을 측정하는 가속도센서(accelerometer)와 하나 이상의 축을 기준으로 움직임의 각을 측정하는 자이로스코프(gyroscope)가 있다.

가속도센서를 이용한 동작인식은 웨어러블 컴퓨팅 연구 초반부터 이루어져 왔는데, 가속도센서를 허리, 발목, 신발 등 사용자의 신체 부위에 부착하여 데이터를 획득하고 사용자의 움직임을 분석하는데 사용되어 왔다. Kim et al.(2011)은 가속도센서를 직접 착용하고 사람의 보행 시 발생하는 가속도 데이터를 획득하여 실시간 걸음수를 검출하는 알고리즘을 개발하였다. 이 연구에서는 느리게 걷기, 걸기, 빠르게 걷기, 천천히 뛰기, 뛰기, 빠르게 뛰기 등 다양한 걸음 속력에 대해 실험을 진행하였다. 하지만 걸음동작에만 초점을 맞춘 연구이며, 실시간 검출을 위해 별도의 디바이스 개발이 필요하였다. Lee et al.(2009)은 3축 가속도센서를 이용하여 앉기, 서기, 눕기, 걷기, 뛰기를 Fuzzy 알고리즘을 사용하여 동작 인식하는 연구를 하였다. 이 연구에서는 모든 동작에서 99.5%의 굉장히 높은 인식률을 보였지만 직접 제작한 가속도 디바이스를 이용하여 실시간으로 데이터를 받을 뿐 실시간 동작 인식 연구는 아니었다.

가속도센서만 사용하여 동작을 인식하는데 한계를 느낀 연구자들은 가속도센서와 다른 종류의 다양한 센서를 결합하여 동작을 보다 정확히 센싱하려는 노력을 시도하였다. Blum et al.(2006)은 카메라와 녹음기, 그리고 2개의 가속도센서를 이용하여 사용자의 행동을 분석하여 자동으로 관심도가 높은 상황에서 멀티미디어를 저장하는 멀티미디어 다이어리 연구를 하였다. Reddy et al.(2010)은 GPS와 가속도센서를 이용하여 걷기, 뛰기, 자전거타기, 그리고 자동차와 같은 엔진이 달린 운송수단을 인식하였다. Stenneth et al.(2011)은 모바일 디바이스에 내장된 GPS와 GIS를 이용하여 어떤 운송수단을 이용하는지 판별하는 연구를 하였다. 이처럼 다중센서를 이용하여 동작 인식을 할 경우 단일 센서 보다 높은 인식률을 보이는 장점이 있다. 하지만 카메라센서와 GPS를 이용할 경우 학습데이터를 모으는데 많은 시간이 든다는 단점이 있다. 또한 앞선 연구들은 가속도센서를 직접 제작하

거나, 동작 인식을 위한 별도의 장비가 필요했기 때문에 비용이 많이 든다.

스마트폰을 이용한다면 비용을 줄일 수 있다는 점으로 스마트폰에 내장된 센서를 이용한 연구들이 각광받고 있다. 특히 스마트폰의 3축가속도센서를 이용한 동작 인식 연구가 많이 진행되고 있다. 그 중에서도 Kwapisz et al.(2011)은 걷기, 조깅, 계단 오르기, 계단내려가기, 앉기, 서기로 총 6가지의 동작을 구별하는 연구를 하였다. Dernbach et al.(2012)은 스마트폰의 센서데이터를 추출하여 단순 동작과 복잡한 동작을 분류하는 연구를 하였다. Yang과 Yong(2014)은 스마트폰에 내장된 3축 가속도센서를 이용하여 실시간 물리적 동작인식기법에 대한 연구를 진행하였으며, 실험결과 80% 이상의 인식률을 보였다. 그러나 동작인식 측정시간이 30초에 한 동작을 측정하는 등 오래 걸린다는 단점이 있었다.

4. 인체 체표면 측정

4.1. 측정의 개요

조정 동작을 센싱하기 위한 직물형 동작 감지 센서를 부착할 수 있는 최적의 위치를 도출하기 위해 3차원 모션캡처를 이용하여 동작분석을 실시하였다. 본 연구에서는 피부의 변화를 측정하기 위해 모션캡처의 기준점 35개에 마킹하였으며, 피부의 변화를 측정하기 위해 격자형으로 피부 상에 조밀하게 마킹하였다. 측정 시 피험자 간의 신체적 체형 차이 및 조정 동작 시 관절의 움직임을 고려하여 마커 부착 위치를 선정하였다.

본 실험은 연세대학교 융합체육과학연구실에서 8대의 적외선카메라(Vicon MX-F20, Oxford Metric Ltd, Oxford, UK)와 동작분석시스템(Vicon NEXUS Systems, Oxford Metric Ltd, Oxford, UK)을 사용하여 예비실험(2015년 1월 20일)을 통해 마킹 방법을 수정 및 보완하여 본 실험(2015년 2월 10-12일)을 진행하였다.

4.1.1 피험자

본 연구에서는 피험자로 건강한 성인 남성 중 조정 선수의 체급을 참조하여 조정 선수의 중량급(heavy,

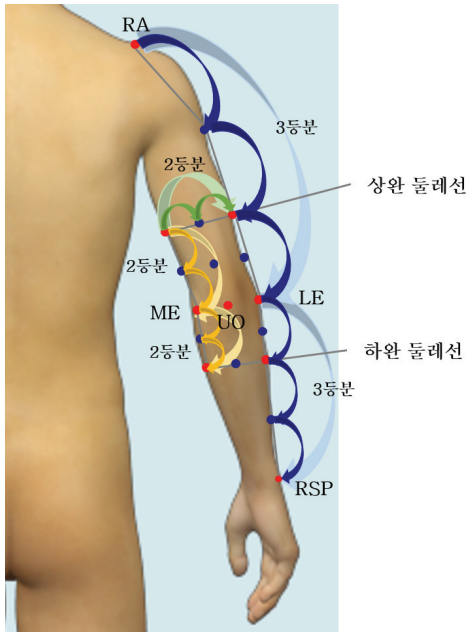


Fig. 3. Elbow joint marking method

춤춤한 격자무늬의 마킹점으로 생성하였다.

다음으로 팔꿈치 관절(elbow)의 경우 측정 시 동작의 기준마커 35개 외에 필요마커 15개를 추가하였으며, 이때 중복된 마커는 1개이므로 측정된 총 마커 수는 39개이다(Fig. 3). 마킹 시 세로선의 기준을 견봉과 상완골의 외측상과(lateral epicondyle of humerus, LE), 요골의 경상돌기(styloid process of radius, RSP)로 선정하여 각 사이를 3등분하였고, 견봉과 상완골의 외측상과 사이의 2/3지점과, 상완골의 외측상과와 요골의 경상돌기 사이의 1/3지점의 둘레를 측정하여 2등분하였다. 이등분 된 둘레의 끝을 세로선에 위치시켜 반대편 끝점을 표시하였고 그 사이를 다시 4등분하여 3/4지점까지만 마킹점을 표시하였다. 그리고 척골의 주두(olecranon of ulna, UO)와 상완골의 내측상과(lateral epicondyle of humerus, LE)를 기준점으로 수평선을 선정하였다. 견봉과 상완골의 외측상과 사이의 2/3지점과 외측상과 사이를 2등분하였고, 상완골의 외측상과와 요골의 경상돌기 사이의 1/3지점과 외측상과 사이를 2등분하였다. 세로선과 가로선을 기준으로 등분된 위치를 마킹하였다.

엉덩이 관절의 측정 시에는 기준마커 35개에 필요마커 20개를 추가하였으며, 중복되는 마커가 없으므로 전체 마킹 수는 55개였다(Fig. 4). 엉덩이의 경우에는 등의 마킹 점 중 가장 아래의 세로선과 가로선을 포

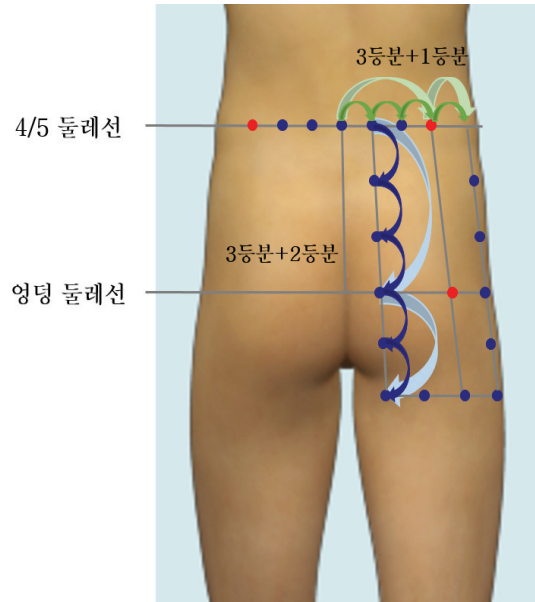


Fig. 4. Hip joint marking method

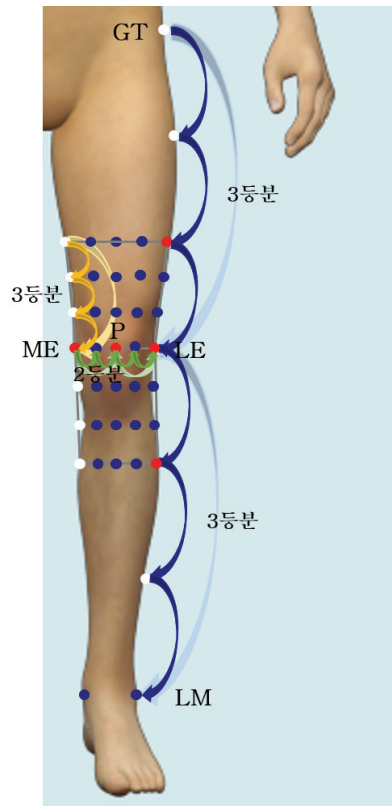


Fig. 5. Knee joint marking method

함하여 마킹하였다. 흉추10번과 상후장골극 사이의 4/5지점의 가로선과 엉덩이가 둘레가 제일 두꺼운 부분을 측정하여 3등분하고 1/3길이의 중앙값을 좌우 상후장골극 사이의 세로선에 위치하여 가로 길이를 다시 6등분하였다. 이때 1/6길이를 외측부위에 한 점

더 추가하여 표시하였다. 그리고 허리 4/5지점과 엉덩뼈의 사이를 수직으로 2등분하고, 똑같은 길이로 엉덩뼈에서 수직으로 2개의 점을 더 추가하였다.

마지막으로 무릎 관절의 경우 측정 시 동작의 기준 마커 35개와 필요마커 29개를 추가하였으며, 이때 중복된 마커 수는 3개였고, 따라서 총 마킹 수는 71개였다 (Fig. 5). 세로선은 대퇴골의 대전자(greater trochanter, GT)와 대퇴골의 외측상과(lateral epicondyle of femur, LE), 비골의 외과(lateral malleolus of fibula, LM)를 연결하여 각각의 사이를 3등분하였다. 그리고 대전자와 외측상과 사이의 2/3지점과 외측상과 사이와 외측상과와 외과 사이의 1/3지점과 외측상과 사이를 각 3등분하였다. 가로선은 대퇴골의 외측상과와 슬개골 중앙(patella, P), 대퇴골의 내측상과(medial epicondyle of femur, ME)를 연결하여 각각의 사이를 2등분하였다. 그리고 대전자와 외측상과 사이의 2/3지점과 외측상과와 외과 사이의 1/3지점의 둘레를 측정하여 2등분하였고, 1/2길이의 끝점을 세로선에 위치하여 반대편에 끝점을 표시하고 그 길이를 다시 4등분하였다. 각 등분된 세로선과 가로선을 연결하여 마커 부착점을 표시하였다.

4.2.2. 조정동작 프로토콜

참여한 모든 피험자는 측정하기 전에 조정동작에 익숙해지기 위해 로잉머신(Model D, Concept2 Inc, US)을 사용하여 20-30분 동안 조정 선수로부터 교육을 받았다. 조정동작을 실시할 때에 준비 자세는 무릎이 굽혀져 있고, 상체를 숙여 무릎에 가까이 붙어 있으며, 팔은 펴서 로잉 머신의 손잡이를 잡도록 지시하였다. 동작을 시작하게 되면 준비 자세에서 무릎을 펴고(무릎관절 신전) 상체를 뒤로 넘기고(엉덩관절 신전), 팔을 당기고(팔꿈치관절 굽힘), 준비자세로 복귀할 때는 팔을 먼저 펴고(팔꿈치관절 신전), 상체를 앞으로 숙이고(엉덩관절 굽힘), 다리를 굽히는(무릎관절 굽힘) 순서로 진행하라고 지시하였다. 이 내용은 전문가 간담회를 통해 조정 훈련시 중요시 판단되는 동작의 순서를 적용하였다.

4.2.3. 모션캡처(Motion Capturing)

조정선수들의 노젓기(rowing) 동작을 1회 실시할

때에 평균 82 bpm의 속도로 진행되므로 측정 시 속도에 맞추어 동작을 실시하도록 지시하였다. 측정 시 5-7회 노젓기 동작을 수행하여 82 bpm의 속도와 비슷한 속도로 동작을 수행할 때부터 5-7회 동작을 더 수행하였다. 로잉동작을 수행하는 전 구간을 수집하였으나 분석에는 82 bpm속도에 맞춰 수행된 세 개의 동작을 사용하였다.

등, 무릎, 팔꿈치를 측정할 때에는 조정머신을 사용하여 수집하였으나, 엉덩관절 측정 시 조정머신의 의자와 마커부착위치가 중첩되어 엉덩관절이 최대로 굽혀지는 딥스쿼트(deep squat) 동작으로 측정하였다. 딥스쿼트 동작 시 최대로 쪼그리고 앉았다가 일어나도록 지시하였으며, 82bpm속도에 맞춰 동작을 수행할 때 5-7회를 수집하여 분석하였다.

5. 측정 자료의 분석

5.1. 자료의 분석 방법

본 실험에서는 마커의 변위를 측정하기 위해 200Hz로 데이터를 획득하였고, 노이즈를 제거하기 위해 10Hz의 저역필터를 적용하였다. 측정된 3D좌표간 거리를 계산하기 위해 Matlab (The Mathworks Inc, Natick, Ma, USA)코드를 이용하였고 시간에 따른 변형률을 분석하였다. 변형률의 정의는 Equation 1과 같다.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

실험 전 피험자가 정지된 상태로 서 있는 동작을 피험자가 정적인 상태로 정의했을 때 피험자가 정적인 상태일 때의 마커 간 거리를 l_0 로 놓고 이후 조정 동작 수행 시 마커 간 거리가 최대로 늘어났을 때의 마커 간 거리를 l_1 으로 놓는다면 Δl 은 $l_1 - l_0$ 이다. l_1 은 각 피험자가 속도에 맞춰 수행된 동작 세 개에서 최대로 늘어났을 때의 값을 각 동작에서 수집하여 세 개의 값의 평균값으로 사용하였다. 이 때 변형률 ϵ 은 $\Delta l/l_0$ 로 정의된다. 본 논문은 체형별로 나눈 그룹간의 평균 변형률 값을 구하였다.

하나의 마커를 기준으로 상하좌우 및 대각선 방향의 마커와의 거리를 측정하였으며 마커 당 8개의 거리가 측정되었다. 모든 피험자들의 측정된 정적인 상태에서 마커의 거리 값과 동적인 상태에서 마커의 최대 거리 값의 차이를 알아보기 위하여 대응표본 T검정(paired t-test)을 사용하였고, 그룹간의 차이를 알아보기 위해 변형률 ϵ 을 구하여 독립표본 T검정(independent t-test)을 사용하여 비교 분석하였다. 위와 같이 수집된 자료는 SPSS 21 (IBM, USA) 통계프로그램을 이용하였으며, 유의 수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

5.2. 분석 결과

본 연구에서는 정적상태의 마커간 거리와 조정 동작 수행 시 최대 마커간 거리를 비교 분석하였으며, 각 부위의 평균 변화율 상위 30 %를 Fig. 6에 유의한 차이가 나타난 거리는 파란색 선으로 상위 30 %에 포함되나 유의한 차이를 보이지 않은 것은 초록색 선으로 표시하였다. 신체 체형에 따른 차이를 알아보기 위해 그룹간의 정적과 동적 마커간의 변화율을 비교 분석하였고 그룹간의 유의한 차이가 나타난 부위에 빨간색 선으로 표시하였다.

5.2.1. 등

등의 경우 총 206개의 변인에서 평균 변형률이 상위 30 %에 드는 62개를 Fig. 6. A에 정적과 동적 마커간의 유의한 차이가 나타난 거리를 파란색 선으로 표시하였고, 순위는 Table 2. Back과 같다. 이중 50위의 M54-M55 (static, S: 60.27±6.51mm, dynamic, D:77.35± 21.52mm)에서는 정적과 동적 마커간의 거리에서 유의한 차이가 나타나지 않았다($p=.104$). 등의 경우 광배근 부위와 요추 부위에서 마커 간 변형률이 가장 크게 측정된 것으로 나타났다. 대부분의 부위에서 그룹간의 유의한 차이는 나타나지 않았으나 승모근 부위의 M19-M27 (light, L: 3.38±1.31 %, heavy, H: 6.99±1.63 %, $p=.04$), M10-M11 (L: 1.02±0.71 %, H: 3.11±0.33 %, $p=.01$), 요추 부위의 수평방향 M6-M14 (L: 10.19±5.2 3%, H: 20.53±2.70 %, $p=.038$), M31-M40 (L:18.47±3.35 %, H: 11.01±2.00 %,

$p=.03$), M32-M41 (L: 13.60±3.57 %, H: 3.85±1.92 %, $p=.014$), 대각선방향 M15-M25 (L: 38.41±7.43 %, H: 21.91±6.14 %, $p=.041$), M16-M26 (L: 52.39±2.93 %, H: 23.35±4.29 %, $p=.001$), M34-M42 (L: 46.77±11.07 %, H: 25.12±7.64 %, $p=.049$)에서 유의한 차이가 나타났다.

5.2.2. 팔꿈치

팔꿈치의 경우 총 38개의 변인에서 평균 변형률이 상위 30 %에 드는 12개를 Fig. 6. B에 정적과 동적 마커간의 유의한 차이가 나타난 거리를 파란색 선으로 표시하였고, 순위는 Table 2, Elbow와 같다. 정적과 동적 마커간의 거리의 O-ME (S: 44.42±4.41 mm, D: 58.10± 6.61 mm, $p=.052$), M11-M12 (S: 45.31±6.08 mm, D: 62.81±9.33 mm, $p=.056$)에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig. 6. B, 초록색선). 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았다.

5.2.3. 엉덩이

엉덩이의 경우 총 55개의 변인에서 평균 변형률이 상위 30 %에 드는 17개를 Fig. 6. C에 정적과 동적 마커간의 유의한 차이가 나타난 거리를 파란색 선으로 표시하였고, 순위는 Table 2, Hip과 같다. 그룹 간에는 M2-M3(L: 17.75±5.88 %, H: 27.29±0.67 %, $p=.049$), M6-M7(L: 8.18±4.52 %, H: 19.61±4.93 %, $p=.042$), M7-M11(L: 10.12±2.18 %, H: 15.34±0.59 %, $p=.016$), M8-M12(L: 21.07±3.62 %, H: 31.82±3.17 %, $p=.018$)에서 유의한 차이가 나타났다.

5.2.4. 무릎

무릎의 경우 총 81개의 변인에서 평균 변형률이 상위 30 %에 드는 25개를 Fig. 6. D에 정적과 동적 마커간의 유의한 차이가 나타난 거리를 파란색 선으로 표시하였고, 순위는 Table 2, Knee와 같다. 그룹 간에는 P-M17(L: 18.88±1.36 %, H: 10.45±4.84 %, $p=.044$), M13-M20(L: 0.00±1.03 %, H: 2.98±0.43 %, $p=.01$), M14-M15(L: 2.04±0.45 %, H: 10.50±4.54 %, $p=.032$)에서 유의한 차이가 나타났다.

Table 2. Ranking of highest change ratio values markers of the subjects

Body Part	Rank	Position	Light Group		Heavy Group		Total Group		P-value
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Back	1	T10M40	91.42	67.93	61.60	11.83	76.51	46.57	0.009*
	2	M25M26	77.90	21.10	49.93	9.79	63.92	21.24	0.002*
	3	M51M52	70.13	14.88	55.49	21.85	62.81	18.54	0.001*
	4	M42M43	72.77	24.21	52.35	7.02	62.56	19.47	0.001*
	5	M16M17	73.34	12.69	44.08	13.89	58.71	19.96	0.002*
	6	M33M34	66.19	20.98	47.38	3.79	56.78	16.97	0.001*
	7	M47M55	46.80	20.77	57.89	23.53	52.34	20.76	0.002*
	8	M46M55	38.40	13.47	59.24	15.15	48.82	17.17	0.001*
	9	M3M12	52.25	21.79	43.27	15.85	47.76	17.74	0.001*
	10	M48M56	41.39	10.17	46.33	17.13	43.86	12.89	0.001*
	11	M15M16	50.77	17.37	35.21	12.18	42.99	15.89	0.003*
	12	M50M51	49.37	18.47	35.39	11.65	42.38	15.79	0.006*
	13	M24M25	49.81	9.14	34.12	10.77	41.97	12.39	0.001*
	14	M3R	38.41	16.47	44.25	15.48	41.33	14.65	0.001*
	15	M41M42	42.67	11.45	37.08	10.81	39.88	10.42	0.001*
	16	M16M26	52.39	2.93	23.35	4.29	37.87	16.24	0.002*\$
	17	M43M51	45.03	11.88	30.15	18.04	37.59	15.91	0.001*
	18	M4M13	37.75	5.99	36.85	16.42	37.30	11.06	0.000*
	19	M49M57	37.70	4.18	36.74	15.70	37.22	10.29	0.000*
	20	M39M47	37.41	0.81	35.67	14.01	36.54	8.93	0.000*
	21	M59M60	42.22	12.36	30.21	3.29	36.22	10.42	0.001*
	22	M34M42	46.77	11.07	25.12	7.64	35.95	14.59	0.002*\$
	23	M7M8	44.85	17.40	26.69	13.94	35.77	17.25	0.009*
	24	M51M59	41.20	15.52	30.12	9.98	35.66	13.15	0.002*
	25	M50M58	34.38	6.48	34.14	10.65	34.26	7.88	0.000*
	26	M25M34	41.95	9.51	25.47	8.94	33.71	12.23	0.001*
	27	M5M14	36.74	5.33	29.97	16.18	33.35	11.39	0.001*
	28	M49M50	33.16	9.27	32.21	12.29	32.68	9.75	0.001*
	29	M45M54	30.50	15.15	33.83	7.49	32.17	10.84	0.001*
	30	M2M11	31.86	18.28	32.02	4.77	31.94	11.95	0.001*
	31	M7M16	35.75	14.44	27.83	13.22	31.79	13.12	0.002*
	32	M52M60	40.62	11.83	22.87	8.09	31.75	13.29	0.002*
	33	M32M33	36.07	6.48	27.34	11.45	31.70	9.60	0.001*
	34	M46M54	35.26	24.17	27.99	12.33	31.63	17.62	0.005*
	35	M38M46	31.47	6.81	31.76	12.68	31.62	9.10	0.000*
	36	M8M9	36.20	8.47	26.96	11.87	31.58	10.52	0.001*
	37	M60M61	40.10	16.69	22.39	5.33	31.25	14.73	0.003*
	38	M40M48	30.43	8.63	31.64	12.92	31.04	9.85	0.001*
	39	M6M15	32.32	10.66	28.62	13.03	30.47	10.84	0.001*
	40	M13M23	32.27	5.51	28.48	14.05	30.38	9.77	0.001*
	41	M8M17	36.77	10.98	23.90	6.61	30.34	10.75	0.001*
	42	M58M59	29.76	5.26	30.60	14.58	30.18	9.81	0.001*
	43	M15M25	38.41	7.43	21.91	6.14	30.16	10.90	0.001*\$
	44	M12M22	31.17	10.00	28.86	12.26	30.02	10.09	0.001*
	45	M26M33	38.87	22.15	20.80	10.47	29.84	18.39	0.011*
	46	M55M56	26.20	11.47	33.36	23.83	29.78	17.18	0.007*
	47	M42M52	40.23	16.85	18.99	5.41	29.61	16.14	0.006*
	48	M42M50	36.26	15.50	21.97	7.62	29.12	13.44	0.005*
	49	M33M43	35.01	17.90	22.77	8.85	28.89	14.30	0.007*
	50	M54M55	44.17	49.69	13.42	1.37	28.79	35.67	0.104
	51	M38M47	29.03	3.31	28.13	6.56	28.58	4.67	0.000*
	52	M14M15	27.59	16.00	29.53	12.59	28.56	12.92	0.003*
	53	M40M41	29.06	11.82	27.92	5.84	28.49	8.36	0.001*
	54	M41M49	30.02	9.80	26.09	9.86	28.05	9.05	0.001*
	55	M47M56	21.55	14.73	34.39	15.62	27.97	15.29	0.007*
	56	M17M25	38.21	18.89	17.57	14.22	27.89	18.75	0.013*
	57	M56M57	26.29	16.88	29.22	16.58	27.75	15.05	0.005*
	58	RM21	30.00	5.17	25.09	9.86	27.54	7.54	0.001*
	59	M48M49	27.11	9.51	26.03	9.20	26.57	8.39	0.001*
	60	M2R	27.88	16.05	24.98	13.96	26.43	13.55	0.003*
	61	M6M7	29.60	13.00	23.05	14.36	26.33	12.76	0.006*
	62	M14M24	28.80	7.81	22.97	8.92	25.88	8.15	0.000*

Body Part	Rank	Position	Light Group		Heavy Group		Total Group		P-value
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Elbow	1	OM7	76.77	53.48	52.92	13.31	64.85	37.22	0.004*
	2	M6O	54.96	12.85	44.72	14.20	49.84	13.35	0.000*
	3	OM10	57.90	12.14	38.92	15.89	48.41	16.37	0.000*
	4	M7M8	57.70	37.97	19.64	13.07	38.67	32.86	0.023*
	5	M11M12	45.02	48.88	30.37	21.98	37.69	34.83	0.056
	6	M10ME	38.79	11.50	27.62	2.58	33.20	9.64	0.001*
	7	OME	45.96	42.64	17.49	9.03	31.72	31.67	0.052
	8	OM11	22.97	0.06	37.52	17.49	30.24	13.63	0.002*
	9	M7M12	32.86	23.59	24.18	11.26	28.52	17.20	0.006*
	10	M7M11	30.41	16.17	26.03	17.29	28.22	15.17	0.005*
	11	M3O	29.05	8.95	26.51	3.65	27.78	6.27	0.000*
	12	M2O	28.38	7.26	25.34	5.75	26.86	6.09	0.000*
Hip	1	M19M20	54.68	35.93	62.41	36.66	58.55	32.74	0.011*
	2	M15M19	44.29	30.80	59.63	6.58	51.96	21.62	0.002*
	3	M14M15	36.42	29.71	60.08	1.84	48.25	22.85	0.005*
	4	M10M14	43.42	28.61	50.92	5.41	47.17	18.87	0.001*
	5	M9M13	25.78	16.51	42.23	11.13	34.00	15.49	0.003*
	6	M14M18	29.54	3.71	30.95	3.33	30.25	3.25	0.000*
	7	M7M8	31.10	17.17	28.81	1.24	29.95	10.96	0.000*
	8	M8M9	18.06	11.80	40.95	15.45	29.51	17.56	0.004*
	9	M9M10	30.28	7.14	27.64	9.19	28.96	7.50	0.001*
	10	M16M17	26.83	17.87	30.59	12.13	28.71	13.82	0.001*
	11	M8M12	21.07	3.62	31.82	3.17	26.44	6.63	0.001*\$
	12	M3M7	18.63	7.61	30.22	4.97	24.42	8.57	0.001*
	13	M13M17	22.10	2.65	26.32	7.51	24.21	5.55	0.001*
	14	M5M9	23.33	10.35	23.78	6.86	23.56	7.86	0.001*
	15	M4M8	15.57	14.87	31.53	3.22	23.55	13.00	0.007*
	16	M18M19	20.16	4.40	25.00	8.86	22.58	6.79	0.000*
	17	M2M3	17.75	5.88	27.29	0.67	22.52	6.43	0.001*\$
Knee	1	M11M12	39.95	17.47	61.36	17.93	50.66	19.70	0.000*
	2	M9M10	38.24	27.75	48.08	19.16	43.16	22.00	0.008*
	3	PM11	45.03	3.91	33.38	14.65	39.20	11.52	0.000*
	4	M3P	41.48	12.22	35.24	9.21	38.36	10.26	0.000*
	5	M3M4	45.83	16.44	30.54	20.89	38.18	18.78	0.000*
	6	M10P	45.35	14.02	27.43	6.18	36.39	13.80	0.000*
	7	M16M21	30.08	13.02	36.67	12.62	33.38	12.03	0.001*
	8	M2M10	34.96	17.26	29.60	20.00	32.28	16.97	0.002*
	9	M4M5	26.78	11.21	36.05	19.90	31.41	15.31	0.000*
	10	M18M19	19.98	5.94	41.00	19.53	30.49	17.29	0.000*
	11	M10M15	29.71	14.63	30.75	5.39	30.23	9.88	0.006*
	12	M11M19	22.58	6.83	36.75	10.37	29.67	11.04	0.000*
	13	M4M11	23.41	7.14	33.66	31.62	28.54	21.26	0.000*
	14	M12M13	15.22	7.98	36.72	25.89	25.97	20.79	0.001*
	15	M4P	22.93	6.48	28.98	25.23	25.95	16.80	0.002*
	16	M16M17	33.09	11.71	18.41	19.24	25.75	16.36	0.000*
	17	M6M11	18.74	6.17	32.12	9.42	25.43	10.22	0.001*
	18	M15M16	19.28	16.63	31.45	4.74	25.36	12.81	0.010*
	19	M17M18	23.96	8.94	25.34	5.83	24.65	6.79	0.001*
	20	PM18	27.02	2.46	22.07	9.75	24.55	6.92	0.000*
	21	M1M9	18.11	6.30	30.11	5.62	24.11	8.47	0.000*
	22	M15RT	22.05	7.50	25.55	10.54	23.80	8.40	0.000*
	23	PM16	30.40	6.04	16.18	8.08	23.29	10.07	0.000*
	24	M17M22	25.29	4.44	20.98	1.36	23.14	3.77	0.000*
	25	M5M6	21.49	12.51	19.35	8.78	20.42	9.74	0.001*

Note, values presented as mean and Standard deviation; M, marker; Back : T, thoracic, R, right back; Elbow : O, olecranon, ME, medial humerus epicondyle; Knee : P, patella.

* Significantly S vs D maximum displacement value between markers, p<.05.

\$ Non-significantly L vs H change ratio values between static and dynamic, p>.05.

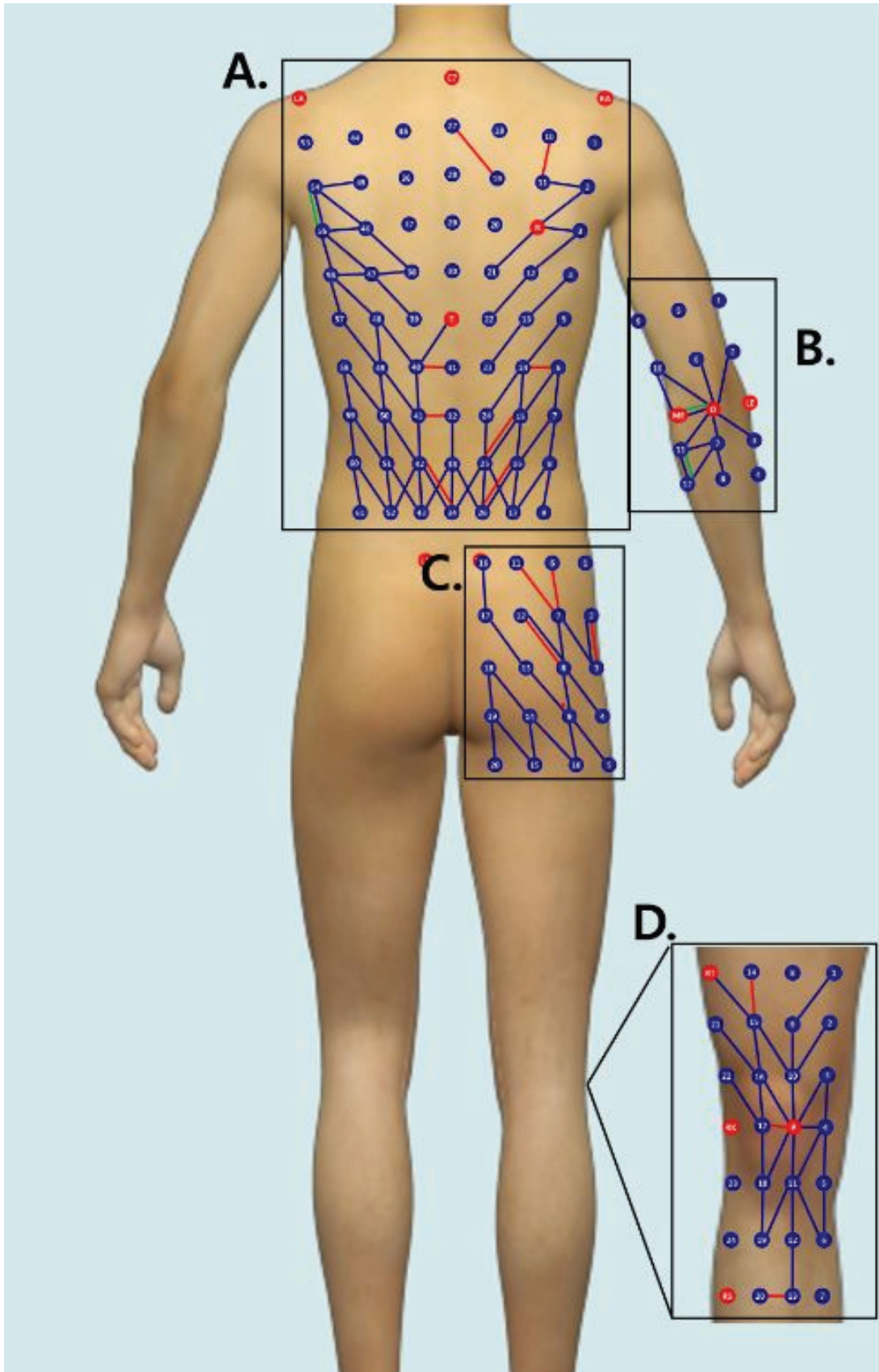


Fig. 6. Highest change ratio values markers of the subjects, A area : Back, B area : Elbow, C area : Hip, D area : Knee (S, static raw values, D, dynamic raw values, L, change ratio values of light group, H, change ratio values of heavy group; blue lines, S vs D, $p < .05$ and L vs H, $p > .05$; red lines, L vs H $p > .05$; green lines, S vs D, $p > .05$).

6. 논의

인체는 다양한 움직임이 가능하며 스포츠 종목에 따라 반복적으로 수행되는 주요 동작들이 다를 뿐만 아니라 단체운동일 경우에는 선수 개개인의 동작을 평가하는 데에는 어려움이 따른다. 그러므로 본 연구에서는 동작이 반복적으로 수행되고 관절의 운동범위가 큰 조정종목의 동작을 3차원 모션캡처를 통해 촬영하여 동작에 따른 피부의 변화를 측정하고 분석함으로써 관절부위의 동작을 감지하는 센서 부착의 최적 위치를 도출하였다.

본 연구의 결과 도출된 마커 간 변형률에 근거하여 동작 센서의 부착 가능 위치를 도시하였다(Fig. 7). 인체의 동작을 감지하기 위해서는 몸통(torso)과 사지의 동작을 감지할 필요가 있는데, 조정 훈련에서 중요시 되는 동작의 순서로 다리(무릎), 몸통(등, 엉덩이), 팔(팔꿈치)의 움직임을 선정하여 측정하였다.

피험자는 조정 대표 체급인 중량급과 경량급으로 나누어 측정되었으며, 조정동작 시 관절각이 크게 움직이는 등, 팔꿈치, 엉덩이, 무릎을 선정하여 모션캡처를 실시하였다. 모션캡처용 마커 부착을 위해 신체

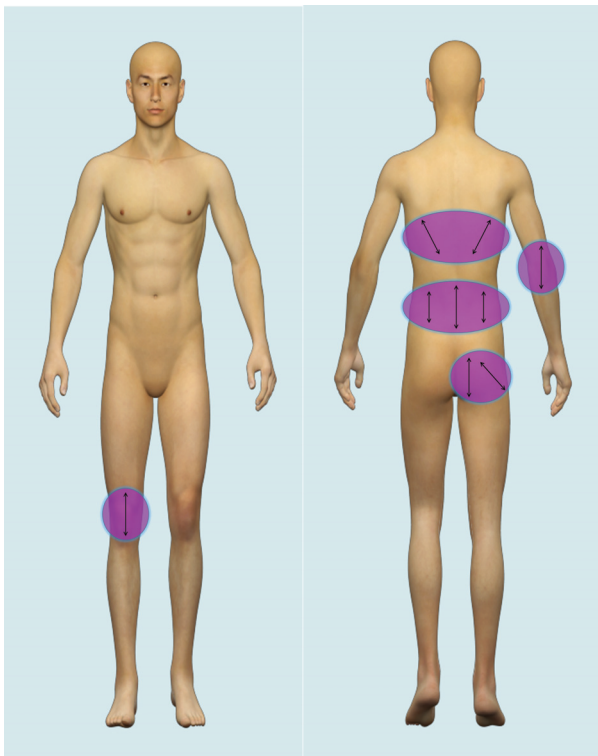


Fig. 7. Sensor zones on human body

사이즈의 다양성을 고려하여 측정 신체 부위를 비율로 등분하여 마킹위치를 선정하였다.

6.1. 몸통 부위의 동작 센서의 부착 가능 위치 및 가이드라인

몸통의 움직임을 감지하기 위해서는 허리와 엉덩이 부분의 변화로 확인할 수 있다. 등의 위쪽 부위는 견갑골과 광배근의 움직임에 의해 대각선 방향에서 변화율이 큰 것으로 나타났고, 허리(요추) 부위에서는 상하 방향으로 피부 변화율이 크게 나타났다. 엉덩이 부분에서는 대각선 방향과 상하방향으로 변화가 크게 나타났다. 몸통의 동작을 감지하기 위해서는 등의 상하 부위와 엉덩이 부분에 센서를 부착할 수 있다.

조정동작을 시행함에 따라 몸통의 위아래로 나뉘어 방향이 다르게 나타났는데 이는 Catch 동작시 팔을 움직여 연결되어있는 견갑골과 광배근도 활성화되어 윗부분은 대각선 방향으로 나타났고, 아랫부분은 몸통이 앞뒤로 움직임에 영향을 받아 수직방향으로 나타났다. 체급 간에는 요추부위에서 대각선방향으로 나타나 센서부착 시 체급에 따라 차이가 있을 수 있으므로 배제되어야 한다. 조정동작의 Catch 동작과 Stroke 동작 시 팔과 상체의 연결부인 견갑골과 광배근 부위, 상체와 하체의 연결부인 요추부위에서 큰 움직임을 보였다.

엉덩이의 경우 대둔근 아래쪽 허벅지가 연결된 부위에서 하체의 움직임이 직접적으로 반영되어 상하와 대각선으로 평균 변형률이 크게 나타났다. 그러나 수직방향은 의자에 앉았을 때에 접촉되는 부위로 센서 부착시 수직방향보다는 대각선 방향이 더 적합할 것으로 판단된다.

6.2. 팔 부위의 동작 센서의 부착 가능 위치 및 가이드라인

팔의 동작을 감지하기 위해서는 팔꿈치 부위에서는 주두를 중심으로 상하 방향으로 센서를 부착할 수 있는 것으로 나타났다.

팔의 움직임시 척골의 주두(Olecranon of ulna)를

기준으로 연결된 마커들의 평균 변형률이 상대적으로 크게 나왔으며 방사형으로 고르게 평균 변형률이 분포함을 확인하였다. 그중에서도 주두의 상하방향으로 높은 변형률이 나타났다고 팔꿈치에서는 체급의 영향을 받지 않으므로 이 부위가 적합하다고 판단된다.

6.3. 다리 부위의 동작 센서의 부착 가능 위치 및 가이드라인

다리의 경우에도 슬개골의 상하 방향으로 센서를 부착할 수 있는 것으로 나타났다.

무릎의 경우 평균 변형률이 큰 마커의 위치는 슬개골을 중심으로 방사선을 나타냈으며 그중에서도 상하방향으로 크게 나타났다.

이 결과를 바탕으로 관절변화 측정 센서의 부착 위치 가이드라인을 제시하였다.

본 연구에서는 체급에 따른 신체적 체형 차이 및 조정 동작 시 관절의 움직임에 고려하여 인체 마커어레이(marker array) 측정 방법을 개발하였고 실제 조정동작 모션캡처를 통해 관절 측정 센서의 적합한 부착위치를 도출하여 스마트 스포츠의류 및 다른 어플리케이션을 위한 센서 부착의 가이드라인을 제시함에 의의가 있다. 그러나 본 연구에서는 누드와 의복 착용의 차이와 신체사이즈에 성별이 고려되어 있지 않고, 스포츠의 종류가 조정이라는 특정 스포츠로 한정되어 있으므로, 추후 연구에서는 이러한 점을 고사하여 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

Aitchison, L. T. (2012). A Comparison of Methods for Assessing Space Suit Joint Ranges of Motion, *In Proceeding of 42nd International Conference on Environmental Systems*, 15-19.

Blum, M. & Pentland, A. S. (2006). Insense: Interest-based life logging. *IEEE MultiMedia*, 4, 40-48.

Cho, S. H., Lee, S. H., Kim, K. H., & Yu, J. Y. (2004). Gait Analysis before and after Total Hip Arthroplasty in Hip Dysplasia and Osteonecrosis of the Femoral Head, *Journal of Korean Orthopedics*

Associations, 39, 482-488.

Dernbach, S., Das, B., Krishnan, N. C., Thomas, B. L., & Cook, D. J. (2012, June). Simple and complex activity recognition through smart phones. *In Intelligent Environments (IE), 2012 8th International Conference on*. 214-221. IEEE.

Dunne, L. E., Gioberto, G., Ramesh, V., & Koo, H. (2011). Measuring Movement of Denim Trousers for Garment-Integrated Sensing Applications, *In Proceeding of 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 3990-3993.

Han, S. A., Nam, Y. J., Yoon, H., Lee, S. H., & Kim, H. J. (2012). Development of Sleeve Patterns of Structural Firefighting Protective Clothing using by 3D Body Shape and 3D Motion Analysis. *Journal of the Korean Society for Clothing Industry*, 14(1), 109-121.

Jeon, H. M., Lee, S. H., Byun, W. T., & Park, S. K. (2014). Kinematic Analysis of Elite Sculling Rowers at Every 500m Intervals, *The Korean Journal of Physical Education*, 53(3), 477-485.

Kim, Y. K., Kim, S. M., Lo, H. S., & Cho, W. D. (2011). Real-Time Step Count Detection Algorithm Using a Tri-Axial Accelerometer. *Journal of Korean Society for Internet Information*, 12(3), 17-26.

Kwapisz, J. R., Weiss, G. M., & Moore, S. A. (2011). Activity recognition using cell phone accelerometers. *ACM SigKDD Explorations Newsletter*, 12(2), 74-82.

Lee, J., Hah, C., Ryu, J., & Kim, K. (2007). Evaluation on Motion Features of the World's Second Archer during Back-Tension in Archery, *Korean Journal of Biomechanics*, 17(3), 197-207.

Lee, M. H., Kim, J. K., Lee, I. H., Jee, S. H., & Yoo, S. K. (2009). Physical activity recognition using a single tri-axis accelerometer. *In Proceedings of the world congress on engineering and computer science*. 1. 20-23.

Park, H. J., Hong, K. H., & Cho, Y. S. (2009b). Segmentation using curvature information of 3D body surface for tight-fit pattern making. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 33(1), 68-79.

- Reddy, S., Mun, M., Burke, J., Estrin, D., Hansen, M., & Srivastava, M. (2010). Using mobile phones to determine transportation modes. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 6(2), 13.
- Ryu, S. & Park K. (2000). A Study on the Lower Body Range of Motion (Using a 3-D Motion System) bout Korean Adults, *The Research Journal of the Costume Culture*, 8(5), 741-753.
- Stenneth, L., Wolfson, O., Yu, P. S., & Xu, B. (2011, November). Transportation mode detection using mobile phones and GIS information. *In Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. 54-63. ACM.
- Yamada, T., Hayamizu, Y., Yamamoto, Y., Izadi-Najafabadi, A., Futaba, D. N., & Hata, K. (2011). A stretchable carbon nanotube strain sensor for human-motion detection, *Nature Nanotechnology*, 6, 296-301.
- Yang, H. K. & Yong, H. S. (2014) Real-Time Physical Activity Recognition Using Tri-axial Accelerometer of Smart Phone, *Journal of Korea Multimedia Society*, 17(4), 506-513.

원고접수: 2015.07.06

수정접수: 2016.05.25

게재확정: 2016.08.30