

가속도계를 이용한 보행속력에 따른 보행이벤트 추출에 관한 연구 Gait event detection using accelerometer by changing walking speed

*최진승¹, 이재준¹, 강동원¹, 문경률¹, #탁계래¹

*J. S. Choi¹, J. J. Lee¹, D. W. Kang¹, K. R. Mun¹, #G. R. Tack(grtack@kku.ac.kr)¹

¹ 건국대학교 의료생명대학 의학공학부

Key words : Accelerometer, Gait event, Speed

1. 서론

양쪽 하지의 꾸준한 반복으로 이루어진 보행의 한 주기는 stance구간과 swing구간으로 나뉘고, 이러한 구분의 기준은 주로 발뒤꿈치가 지면에 닿는 Heel strike(HS)시점과 발가락끝이 지면을 박차고 나가는 Toe-off(TO)시점의 구분을 통해서 이루어진다 [1]. 이를 통해, 보행의 공간적(stride length/width, step length/width 등), 시간적(stride time, step time, double support time 등) 변인의 추출이 가능하다. 따라서 정확한 보행이벤트의 추출은 정량적 보행 분석에 있어서, 가장 기초적이고 중요한 요인이다. 기존의 보행 동작분석은 주로 동작분석시스템이 구비된 실내의 보행로에서 수행되었고, 보행이벤트는 주로 지면반력기를 이용하거나 카메라를 바탕으로 한 운동학적 데이터를 이용하여 추출되었다. 최근 들어, 실외에서의 움직임에 대한 관심의 증가에 따라 실외 보행에 대한 데이터를 필요로 하는 경우가 많다. 이를 위해 풋스위치와 가속도 센서, 자이로 센서 등이 많이 이용되고 있다. 이중 풋스위치를 이용한 경우가 가장 널리 사용되어왔으나, 직접적 보행 충격에 의한 센서의 파손과 피험자가 느끼는 약간의 이물감으로 인한 단점이 있다. 따라서 최근에 크기가 작고 저렴한 형태의 가속도계와 자이로 센서의 이용이 늘고 있다. 이러한 가속도계를 머리와 허리, 하지, 발등, 발뒤꿈치 등의 다양한 부착 위치에 따른 보행이벤트의 검출이 시도되고 있다[2]. Zijlstra & Hof (2003)의 상체에 가속도 센서를 부착하여 보행을 검출한 연구와 Jasiewicz 등(2006)의 정상인과 척추질환 환자에서의 발등과 정강이쪽에 부착한 가속도계와 자이로 센서를 이용한 보행이벤트 검출에 대한 비교 연구, 대퇴와 정강이, 발등에 가속도계와 자이로 센서를 부착하고 보행이벤트를 검출한 연구 등이 대표적이다 [3,4,5]. 이 중, 가속도계와 자이로 센서를 함께 이용한 경우와 발과 대퇴, 정강이 등에 센서의 추가적 부착은 데이터량의 증가와 상당한 이물감을 증대시킬 수 있으므로, 센서의 개수를 최소화하고 부착위치도 줄일 필요가 있다. Jasiewicz 등(2006)의 연구를 통해 발등에 부착한 가속도계의 가속도 데이터만을 이용해 검출한 보행이벤트의 정확성이 밝혀진 바 있다. 또 피험자의 이물감 최소화를 위해 신발의 발등에 2축 혹은 3축의 가속도계의 부착만으로 보행이벤트를 검출하는 것이 적합하다. 하지만, Jasiewicz 등(2006)의 선행연구에서는 보행이벤트 검출을 위해 발의 가속도데이터를 이용하였으나, 피험자의 보행 속력에 따른 연구가 수행되지 않았다. 발의 가속도는 보행 속력의 변화에 따른 보행 형태가 변모할 경우 그 영향을 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 다양한 보행 속력에 따른 보행이벤트 검출 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다.

2. 방법

2.1 실험대상

본 연구에 참여한 피험자는 5명(신장 168.8±4.2 cm, 몸무게 64.4±8 kg, 나이 24.1±2.9 세)의 남성으로 관절 질환, 심장 질환, 호흡계 질환이 없는 건강한 남성이었다.

2.2 실험방법

피험자는 양발의 발끝, 발뒤꿈치, 발목에 적외선 반사마커를 부착하고, Fig 1과 같이 양발의 발등에 가속도계를 고정한 후, 10m의 보행로를 개인별로 느린 속력, 보통 속력, 빠른 속력의

보행을 각 3회씩 수행하였다. 본 연구를 위해 이용된 가속도센서는 3축으로 저전력의 특성을 가지고 있는 Freescale사의 MMA7260이고 RF방식으로 데이터를 PC로 전송하였다. 전송된 데이터는 Labview (National Instruments, USA) 프로그램을 사용하여 디스플레이 하였고 동시에 저장하였다(Fig 2). 데이터의 샘플링은 60Hz이다. 이를 이용해 보행 이벤트를 획득하기 위한 실험을 실시하였다. 실험은 피험자의 양 발의 발등에 센서모듈을 부착하고 실시하였으며, 정확한 보행이벤트 시간을 확인하기 위해 동작분석시스템(Motion Analysis Corp. Santa Rosa, CA, USA)과 2대의 지면반력기(AMTI, Inc., MA, USA)를 동기화하여 비교하였다.



Fig. 1 가속도계 모듈과 피험자의 신발에 부착한 모습

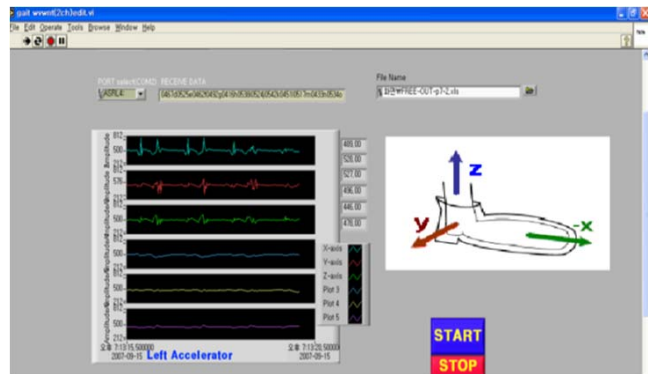


Fig. 2 Labview 프로그램을 이용한 데이터 저장 및 디스플레이

2.3 분석방법

실험을 통해 얻어진 동작데이터와 지면반발력 데이터를 통해, 보행이벤트의 기준 시점을 구하였다. 지면반발력의 데이터에서 발뒤꿈치가 지면에서 닿는 시점과(Heel Strike, HS) 발가락이 떨어지는 시점은(Toe Off, TO) 지면반력기의 데이터를 이용하여 정확한 시점을 알 수 있었고 이와 동기화된 가속도 데이터에서의 변화 형태와 비교하였다. Fig 3은 동작데이터와 가속도 데이터와의 비교를 나타내며 가속도센서의 3축은 전후(x축, anterior-posterior direction)방향과 내외(y축, medio-lateral direction)방향, 수직(z축, vertical direction)방향으로 구성된다(Fig 2).

지면반력기를 통한 보행이벤트 시점과 가속도 데이터를 비교해본 결과 가속도센서의 전후방향(x축)에서 TO시점과 일치하였으며, 수직방향(z축)에서는 HS시점과 일치하였다(Fig 3). 이를 바탕으로 각 보행이벤트를 검출할 수 있는 알고리즘을 645

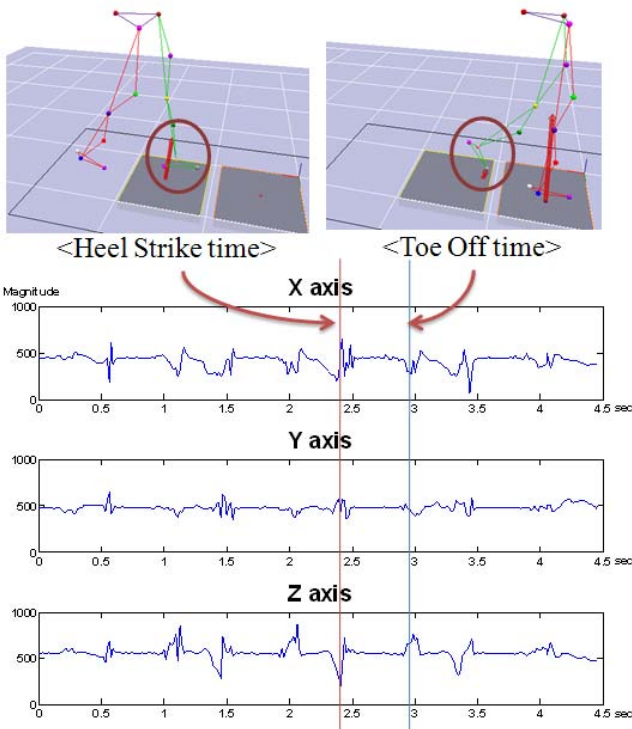


Fig. 3 동작데이터와 가속도 데이터의 보행이벤트 시점 비교

다. 알고리즘은 보행 시 x, z축 방향에서 가속도계의 원데이터를 3Hz로 Low pass 필터링한 값을 이용하여 구현할 수 있었다. 모든 데이터의 분석과 알고리즘 개발은 Matlab 6.5를 이용하였다. Fig 4는 가속도센서의 필터링한 데이터를 이용하여 알고리즘으로 보행이벤트 검출을 나타내는 그림이다.

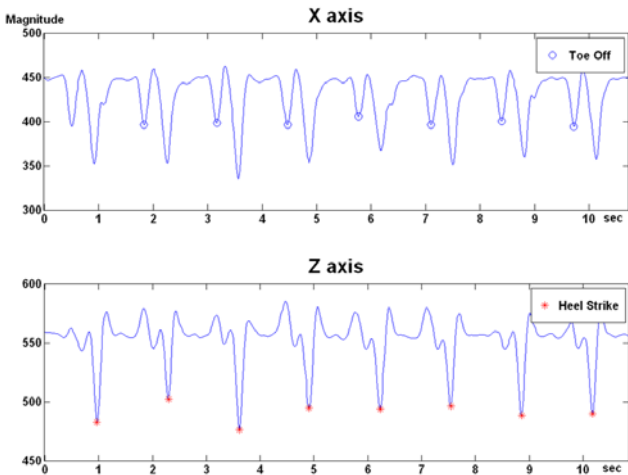


Fig. 4 알고리즘을 이용한 보행이벤트 검출

3. 결과

Table 1 지면반력기와 비교한 가속도계의 보행이벤트 시점의 오차

Error	Slow speed		Normal speed		Fast speed	
	HS	TO	HS	TO	HS	TO
mean	-49.667	-10.333	-37.333	-0.5	-5.25	19.25
(SD)	(9.2915)	(17.925)	(22.368)	(9.1923)	(11.846)	(16.165)

Error = motion - accelerometer, (msec)

본 실험의 결과는 Table 1에 나타난 바와 같았다. 세 가지 보행 속력에서 수십 msec의 차이만 발생하였다. 보행 한 주기가 1 sec안팎임과 동작분석기의 오차 등을 고려한다면 충분히 보행 분석에 이용이 가능한 결과이다.

4. 토의 및 결론

본 연구의 목적은 실외 보행 분석을 위한 기초 연구로 가속도계를 이용해 보행 속력 변화에 따른 보행이벤트 검출이었다. 이를 위해 가속도계를 부착한 피험자는 보행 실험실에서 동작분석기와 지면반력기를 이용한 평지보행과 트레드밀 보행을 통해 속력의 변화에 따른 보행 실험을 수행하였다. 이렇게 획득된 가속도 데이터를 이용하여 단순한 3Hz로 LPF만을 통해 보행이벤트가 검출된다는 것을 알 수 있었다. 이 방법은 기존의 가속도계를 이용한 방법과 직접적인 비교를 수행하지는 않았으나, 속력에 대해 보행이벤트의 검출이 검증되었다는 장점을 가진다. 이를 이용해 실제 실외 보행 실험 시, 발등에 가속도계를 붙이는 방식으로 보행이벤트의 각 시점 구분이 가능하고, 보행 시간 변인의 추출이 가능하다. 이러한 보행 시간변인은 보행의 시간에 따른 변동성(gait variability)을 살펴보는 측면의 접근 등에 이용이 가능할 것으로 보인다. 하지만 현재의 검출 데이터는 정밀한 데이터를 필요로 하는 분석에는 약간의 한계를 가진다. 우선 가속도계 모듈 자체의 샘플링 주파수가 60Hz로 낮아서 데이터의 손실이 존재한다. 이와 함께, LPF 과정에서 수 십 msec 단위의 딜레이가 발생하고 있다. 추후에 이러한 문제점을 보완을 위해 샘플링 주파수를 증가시킬 필요가 있고, Jasiewicz 등(2006)이 제안한 것과 같이 시간변인 뿐만 아니라, 공간 변인의 추출에 대한 고려가 이루어져야 하겠다.

후기

본 연구는 산업자원부 지역산업기술개발사업(70000709)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- Hreljac, A. and Marchall, R. N., "Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data," J. of Biomechanics, 33, 783-786, 2000.
- Kavanagh, Justin J., Menz, Hylton B., "Accelerometry: A technique for quantifying movement patterns during walking," Gait & Posture, 28, 1-15, 2008.
- Zijlstra, Wiebren, Hof, At L., "Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking," Gait & Posture, 18, 2, 1-10, 2003.
- Jasiewicz, J. M., Allum, J. H. J., Middleton, J. W., Barriskill, A., Condie, P., Purcell, B., Li, Raymond C. T., "Gait event detection using linear accelerometers or angular velocity transducers in able-bodied and spinal-cord injured individuals," Gait & Posture, 24, 4, 502-509, 2006.
- Lau, H., Tong, K., "The reliability of using accelerometer and gyroscope for gait event identification on persons with dropped foot," Gait & Posture, 27, 2, 248-257, 2008.