

# 보행 시 Stride Rate Variability와 Heart Rate Variability에 대한 연구 A Study of Stride Rate Variability and Heart Rate Variability during walking

\*최진승, 김형식, 강동원, 이정환, #탁계래

\*J. S. Choi, H. S. Kim, D. W. Kang, J. H. Yi, #G. R. Tack (grtack@kku.ac.kr)

건국대학교 의료생명대학 의학교육부

Key words : Stride Rate Variability, Heart Rate Variability, Walking speed, Coefficient of Variance

## 1. 서론

일반적으로 정량적 보행 분석에서의 변동성(Variability)이란 운동학적(kinematic), 운동역학적(kinetic), 시공간적(spatial-temporal), 근전도 측정 데이터에서의 불안정 동요(fluctuation)를 의미한다(Chau, 2005). 이는 일반적으로 데이터를 대표하는 값인 평균값이외에 인체 내의 변동성, 환경적인 요소, 측정상의 오차 등의 값의 합을 의미한다. 통념적으로 이러한 변동성을 제외한 전체평균을 이용해 신호의 대표적 추세를 파악하고 표준편차를 사용하여 그 분포 수준을 가늠하는 것이 일반적이다. 하지만 이는 인체 자체의 항상성 유지를 위한 변동마저 배제하고 획일화하는 오점을 지니고 있다. 여기서 변동성은 인체의 신체적 균형 혹은 건강상의 균형을 유지하기 위한 자율적 조절의 발현으로 간주될 수 있다. 최근 들어, 생체신호의 분석에 있어서 이러한 변동성을 이용한 분석이 다양하게 시도되고 있다.

현재 심장박동의 R-R 간격을 이용해 심장병증의 진단과 예방에 실제 사용되고 있는 Heart Rate Variability(HRV)가 좋은 예라 할 수 있다. 이러한 인체의 변동성에 대한 연구는 보행 시의 시간간격 및 폭 등을 이용하는 Stride Rate Variability(SRV), 호흡간격을 이용한 Breathing Rate Variability(BRV)등의 연구가 대표적이다(Hausdorff, 2003). 특히 SRV에서 보행은 인간의 기본적 이동 수단이며 가장 자동화된 운동이라는 점에서 다양한 측면에서 접근이 이루어지고 있는 분야이다. 이에 대한 최근 연구로는 보행속도에 따른 보행 주기에 변동성에 대한 영향을 알아보는 연구(Jordan, 2007)와 backward counting task의 수행과 같은 인지 및 운동의 dual task(동시과제) 상황에 따른 보행 간격시간과 보폭 길이의 변화에 대한 연구(Beauchet, 2005), 주의력 분산에 따른 보행-주행 천이 속도의 변화의 보행 변동성을 통한 연구(Daniels, 2003), 나이에 따른 영향에 보행 변동성의 변화에 대한 연구(Buzzi, 2003) 등이 있다. 이러한 변동성에 대한 연구는 각각 HRV를 이용해 인체의 가장 중요한 장기인 심장에서의 박동변화에 따른 질병의 특성을 살펴보고 SRV를 통해 인체의 신체 균형과 인지작용 등의 영향을 살펴보았다.

보행 변동성, 심박 변동성, 호흡 변동성 등 각각의 변동성에 관한 연구는 위에서 언급한 것처럼 보고된 결과가 어느 정도 존재하나, 보행 시 보행과 심박의 상관관계에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 인체의 총체적 균형이라는 측면에서 SRV와 HRV간에 상호 관계가 있을 것으로 가정하고, 두 변동성의 관계를 살펴보고자 하였다.

## 2. 방법

본 실험의 참가자는 정상적인 심폐활동을 하고 최근 1년간 하지 근골격계 상해를 입지 않은 남성 2 명(나이 25.5 years, 키 170.5 cm, 몸무게 61.5 kg)을 대상으로 하였다.

실험 내용은 피험자는 5가지 보행속도 즉, 선호보행속도(Preferred Walking Speed: PWS)와 PWS의  $\pm 10, 20\%$ 의 속도(80%, 90%, PWS, 110%, 120%)에서의 보행을 실시했다. 각 속도마다 10분씩 수행되었고, 데이터의 분석은 전후 1분을 뺀 총 8분의 데이터만 이용하였다. 실험은 트레드밀(REDON, RX9200S, TOBEONE, Korea)을 이용하였고, 각 피험자는 예비 실험을 통해

개인의 선호보행속도(S1 : 3.0 km/hr, S2 : 3.1 km/hr)를 측정하여, 그 속도로부터 80%, 90%, 110%, 120%속도를 결정하였다. 이와 함께 PWS도 고정된 속도(fixed)와 자유로운(free) 속도에서 모두 실험을 수행하였다. 기존의 실험에서는 PWS가 구해지면 그 속도를 고정하여 실험을 모두 수행하였으나, 본 과제에서는 피험자가 선호보행속도에서 자유롭게 보행할 수 있도록 제작된 트레드밀 환경 하에서 실험을 함으로써 엄밀한 의미에서의 보행 변동성을 측정할 수 있었다. 피험자는 트레드밀에서 실험 수행 시, 2m 전방의 흰 색 벽면만을 응시하도록 교육하였고, 실험 중, 보행동작 수행 외에 말이나 다른 추가적 행동이 금지되었다.

실험 시 SRV와 HRV 변인의 검출을 위해 심전도와 가속도를 검출할 수 있는 시스템을 이용하였다(김형식, 2007). 발등에 부착된 가속도계를 통해 얻어진 가속도 변화값의 피크를 이용하여 Heel Strike (HS)를 검출하였고, SRV를 살펴보기 위한 변인으로 걸음 시 HS와 다음 걸음 시 같은 발의 HS사이의 시간 간격을 나타내는 보행간격시간(Stride to stride time interval; SST)을 이용하였다. HRV의 변화를 나타내는 요인은 HRV 분석에 일반적으로 널리 사용되는 R-R interval 시간 간격(RRT) 데이터를 이용하였다. 이는 심전도 데이터(ECG)의 R-wave peak와 다음 R-wave peak 사이 시간 간격을 나타낸다.

이렇게 얻어진 SST와 RRT 데이터는 단위와 상관없이 그 변동성의 패턴만이 비교되어야 하므로, 그 단위와 상관없이 변동성을 비교할 수 있는 변인인 Coefficient of Variance (CV)를 이용해 각각의 변동성의 정도를 파악하였다. CV는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$CV = (SD/M) \times 100$$

여기서, SD는 데이터의 표준편차이고 M은 평균이다. 단위는 백분율(%)로 생각할 수 있다. 본 연구에서 모든 계산은 MATLAB™ v6.5 (Mathworks Inc., USA)에서 수행되었다.

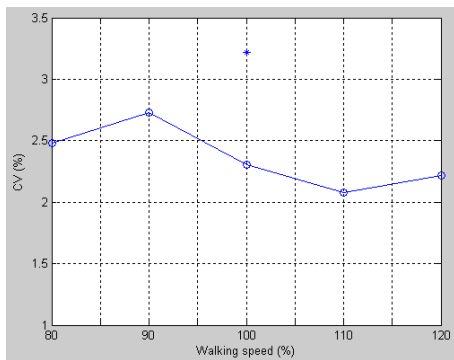
## 3. 결과 및 토의

본 실험을 통해 얻어진 데이터의 SST와 RRT의 평균(Mean), 표준편차(SD)과 CV의 값은 Fig 1과 Table 1에 나타낸 것과 같다.

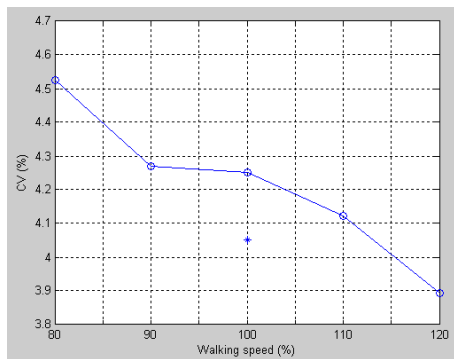
Fig 1. (a)는 속도의 변화에 따른 CV 값의 변화를 나타낸다. SST의 경우, 보행 속도가 증가함에 따라 속도 110% 부근에서 최소값을 나타내면서 U자 형태를 보이고 있다. 이는 Jordan(2007) 등의 선행연구에서 나타난 결과와 일치한다고 생각할 수 있다. 이는 일정 속도(PWS 부근)를 기점으로 하여 보행의 변동성의 크기가 변화한다는 것을 유추해 볼 수 있다. 이에 대한 해석은 PWS 이상의 보행 속도 증가에 따른 보폭의 변화 혹은 보행 간격시간의 축소 등 보행 전략의 변화에 그 원인을 둘 수 있겠다. 특히, PWS의 경우에 트레드밀에서 속도를 PWS(각 3.1 km/hr, 3.0 km/hr)로 고정하여두고 실험을 수행하였을 경우와 자유롭게 보행하였을 경우에 자유로운 보행의 경우가 CV값이 더 크게 나타났다. 이는 실제 트레드밀에서의 속도 제어가 보행의 변동성을 제약하는 효과로 간주할 수 있다. 이는 추후 실험에 중요한 자료가 될 것으로 사료된다. 이러한 변화와 관련하여 Fig 1.

(b)에 나타난 RRT의 변화를 생각해 볼 수 있다. 여기서 RRT는 속도 90%부근에서부터 감소하기 시작하여 속도가 PWS를 넘어서면서부터 그 감소폭이 커지고 있음을 알 수 있다. 이는 일정 속도 이상의 보행 시에 심장박동의 변동성이 감소하였음을 나타내고, SRV에서 나타나는 CV의 그래프상 변화 패턴이 상하방향의 역수 형태를 나타남을 살펴볼 수 있다. 물론 이는 최대 심장박동수와 보행과의 관계, 신체기전, 충분한 피험자 수에 대해 종합적으로 생각해 보아야 하겠으나, 이와 직접 관련된 선행연구가 거의 희박한 상태로, 이에 대한 면밀한 접근이 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

물론 현재 살펴본 결과의 데이터만으로는 적은 피험자에 의한 영향을 간과할 수 없으므로, 피험자 수를 증가시켜 확인해 보아야 하겠다. 추후 피험자수를 증가시키고 HRV를 SRV와 관련지어 다각적으로 살펴볼 수 있는 변인을 추가하여 실험이 필요하겠다.



(a) SRV



(b) HRV

Fig. 1 CV for walking speed (○ : fixed PWS, \* : free PWS)

4. 결론

본 연구는 인간의 총체적 신체균형의 유지를 위한 다양한 생체현상 중, 변동성의 관점에서 인간의 신체기전의 전반적 조화를 살펴보고자 하였다. 본 실험결과는 추후 추가적 연구를 진행하기 위한 선행 연구로 다른 선호보행속도(PWS)를 지닌 2명의 피험자의 HRV와 SRV의 변화를 살펴보고, 변동성의 연구에서 가장 많이 이용되고 있는 HRV와 SRV의 변화패턴의 동시 분석을 통해 그 연관성을 찾고자 하였다. 현재 결과에 나타난 결과로는 두 변동성의 연관성에 대한 결정적 고찰은 부족하며 추후 피험자 수와 보행 속도수의 증가, 변동성을 나타내는 다양한 변인의 추가, 실험과정과 피험자의 통제를 통해 보다 통합적인 고찰이 필요하겠다.

후기

본 연구는 산업자원부 지역산업중점개발사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Chau, T., Young, S. and Redekop, S., "Managing variability in the summary and comparison of gait data," J. of Neuroengineering and Rehabilitation, 3, 2-22, 2005.
2. Hausdorff, J. M., Balash, J. and Giladi, N., "Effects of Cognitive Challenge on gait variability in patients with parkinson's disease," J. Geriatr Psychiatry Neurol., 16, 1, 53-58, 2003.
3. Jordan, K., Challis, J. and Newell, K., "Walking speed influences on gait cycle variability," Gait & Posture, 26, 1, 128-134, 2007.
4. Hausdorff, J. M., "Gait variability: methods, modeling and meaning," "Gait variability: methods, modeling and meaning," J. of NeuroEngineering & Rehabilitation, 2, 19, 2005.
5. Beauchet, O., Dubost, V., Herrmann F. R. and Kressig, R. W., "Stride-to-stride variability while backward counting among healthy young adults," J. of Neuroengineering and Rehabilitation, 2, 26, 2005.
6. Daniels, G. L., Newell, K. M., "Attentional focus influences the walk-run transition in human locomotion," Biological Psychology, 63, 2, 163, 2003.
7. Buzzi, U. H., Stergiou, N., Kurz, M. J., Hageman, P. A. and Heidel J., "Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait," Clinical Biomechanics, 18, 435-443, 2003.
8. 김형식, 최진승, 이정환, 탁계래, "심박수, 호흡, 보행 패턴의 변동성 동시 계측을 위한 시스템의 개발," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집 제출논문, 2007.

Table 1. SRV and HRV (Mean, SD, CV)

Speed	Subject 1			Subject 2			Subject 1			Subject 2			
	Mean	SD	CV	Mean	SD	CV	Mean	SD	CV	Mean	SD	CV	
S R V PWS	120%	1.1387	0.0297	2.607	1.082	0.0255	2.356	0.6155	0.0259	4.2088	0.6292	0.0304	4.8385
	110%	1.1807	0.0358	3.029	1.1159	0.027	2.4214	0.6171	0.0222	3.5973	0.6321	0.0313	4.9441
fixed		1.2017	0.0199	1.6521	1.1408	0.0338	2.964	0.6152	0.0229	3.7189	0.6529	0.0312	4.7845
	free	1.4077	0.0464	3.2987	1.1858	0.0566	4.7733	0.6209	0.0207	3.3398	0.6644	0.0317	4.7649
90%	1.1977	0.0189	1.5767	1.1913	0.0307	2.5766	0.618	0.0214	3.459	0.6558	0.0314	4.7838	
80%	1.2385	0.0198	1.5965	1.2129	0.0343	2.831	0.614	0.0202	3.2832	0.6603	0.0297	4.5026	

(Mean : sec, CV : %)