

성별에 따른 보행시 관절 운동범위에 대한 비교 분석 Comparison of Range of Motion in Walking Between Male and Female

*박정홍¹, #손권², 김광훈³

*J. H. Park¹, #K. Son(kson@pusan.ac.kr)², K. H. Kim³

^{1,3} 부산대학교 기계설계대학원, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : Range of motion, Human joints, Time series analysis, Normal gait

1. 서론

보행은 사람의 가장 일반적인 동작으로 상지와 하지 관절이 협력하여 일어나는 복합적인 운동이다. 인체의 보행은 주기적인 것 같으나 실상은 순간마다 변하기 때문에 비선형 동역학 성질을 가진다.¹ 노인이나 신경계의 질병이 있는 환자는 보행중에도 신경 전달과 운동 체계의 기능 약화로 낙상과 같은 사고가 빈번하게 일어난다.¹⁻³

보행 안정성의 판별은 과거에 주로 보행 주기와 관련된 결과를 기준으로 하였다. 즉, 보폭의 변동 추이나 보폭의 길이, 무게 중심점의 이동 패턴을 이용하여 정상 보행과 비정상 보행을 구분하고자 하였다.³ 하지만 보폭의 크기와 그 변동량에 대한 평균이나 표준 편차와 같은 결과를 이용하여 안정성을 판별하는 것에 대한 모순이 발견되었다.¹

Dingwell 과 Cusumano¹는 보행 안정성이 보폭의 크고 작음 보다 운동이 시간에 따라 변화되어 가는 추이를 비선형적 방법으로 계산하였다. 이때 안정성의 판별을 운동 신호의 궤적이 발산하는 정도를 나타내는 리아프노프 지수를 이용하여 정량화 하였다. 이와 같은 리아프노프 지수를 이용한 하지 관절의 안정성에 관한 연구는 여러 연구자들에게 의해 활발히 수행되고 있다.^{4,6} 하지만 보행 안정성 외에 기초적인 운동 범위와 각 관절 자체의 운동에 대한 복잡성이 성별에 따라 어떠한 차이가 있는지에 관해서는 연구 자료가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 보다 기초적인 운동 범위 자료와 시계열 해석 결과를 통해 운동의 복잡성을 비교하고자 하였다. 성별에 따른 보행 패턴에 관한 비교를 위해 젊은 성인 남녀에 대하여 모두 11 개의 관절의 굴곡/신전각을 측정하여 운동 범위를 조사하였다. 그리고 시간에 따라 계속해서 변화하는 보행 거동에 대한 신호의 복잡성을 알아보기 위하여 시계열 해석(time series analysis)을 수행하였다. 시계열 해석방법은 일정한 시간동안 얻은 운동 자료를 바탕으로 시계열 데이터를 만들고 신호의 비선형성을 분석하는 것이다.

2. 보행 실험

보행 실험은 젊은 성인 39 명(남자 20, 여자 19)을 대상으로 하였다(Table 1). 피실험자는 모두 무릎 관절에 이상이나 질병으로 치료를 받은 경험이 없는 사람을 대상으로 하였다.

보행 측정에는 모두 8 대의 비디오 카메라(Sony DCR-VX2100, Japan)를 사용하였고 영상 샘플링 주기는 60 frame/sec 였다. 3 차원 공간자를 사용하여 3 차원상의 실제 거리와 카메라에서 획득한 영상 픽셀사이의 상관관계를 구했다. 협소한 장소에서 규칙적이고 반복적인 보행 운동을 재현해 줄 수 있는 보조 장치로 트레드밀을 사용하였다.

시간에 따른 운동 변화에 대하여 비선형적인 해석을 하기 위해서 우선 최소한의 시계열 데이터를 만들어야 한다. 이전 연구를 통하여 적절한 시계열 데이터는 약 84 초동안

Table 1 Subject data (mean ± standard deviation)

	Age(yrs.)	Height(cm)	Weight(kg)	Speed(km/h)
Male(n=20)	24.1±3.7	176.1±5.3	73.2±9.0	3.7±0.5
Female(n=19)	22.1±2.7	160.5±5.2	52.5±4.8	3.1±0.3

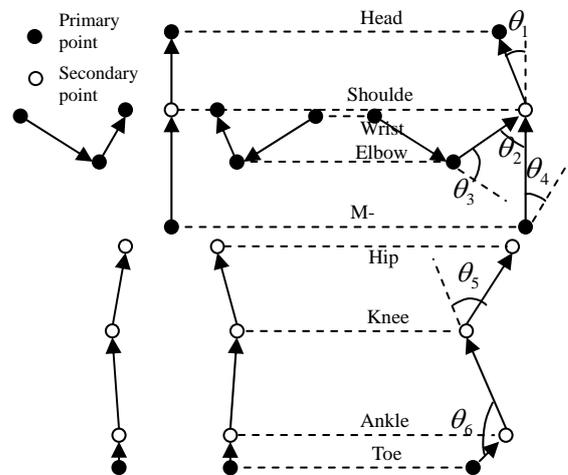


Fig. 1 Joint angle definitions in the sagittal plane

5000 개 이상이면 충분하므로 본 실험에는 약 90 초동안 얻어진 5300 여개의 영상자료를 획득하였다.⁴ 카메라에서 얻어진 영상자료로부터 각 마커의 3 차원 좌표와 관절의 굴곡/신전각은 상용 프로그램인 Kwon3D(Visol, Korea)를 사용하여 계산하였다.

상체와 하체의 운동을 기록하기 위해 인체 특징점에 반사 마커를 부착하였다. 먼저 선 자세에서 37 개의 마커를 부착하여 어깨, 팔꿈치, 고관절, 무릎, 발목의 관절 중심을 계산하였다. 그 후 관절 중심을 찾기 위해 부착한 마커를 제거하고 실험자는 각자가 느끼는 안정한 속도로 보행하였다. Fig. 1 은 마커들로 구성된 인체 관절각의 정의를 나타낸 것이다. 관절각 θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 , θ_5 그리고 θ_6 는 시상면 상에서 일어나는 운동을 기준으로 하였다.

보행시 속도는 피실험자가 가장 안정하다고 생각되는 속도를 직접 선택하도록 하였다. 보행 속도를 각기 다르게 선택하도록 한 이유는 피실험자마다 가장 편안한 상태의 정상적 보행을 유도하기 위해서이다. 그리고 보행속도는 사람마다 다르며 기존의 연구를 통하여 보행에서 평균 속도를 기준으로 $\pm 20\%$ 범위내에서의 변화는 개개인의 보행 안정성에 크게 영향을 미치지 않는다. 따라서 각각의 실험자가 안정하다고 느끼는 속도에서 보행 실험을 수행하였다.

상대 LZ 복잡성(relative Lempel and Ziv complexity)은 시계열의 복잡성을 나타내는 측정값 가운데 하나로써 가장 복잡한 형태의 신호인 랜덤의 경우 1.0 의 값을 가지며 복잡성이 없어 완전히 예측 가능한 신호인 경우 0 의 값을 가진다. 이 알고리즘은 Kaspar 와 Schuster⁷에 의해 고안된 것이다. 운동 범위와 LZ 값은 비선형 시계열 전문 해석프

로그인인 Chaos Data Analyzer(professional version) ⁸를 사용하였다.

남녀의 운동 범위와 LZ 계산값에 대한 비교를 위해서 평균값 분석법 가운데 하나인 일원분산분석을 수행하였다. 통계처리는 상용 프로그램인 SPSS(ver 13.0)를 이용하였다. 통계적 유의수준 p=0.05로 설정하여 통계적으로 유의성이 있는지를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

보행시 운동각의 범위를 나타낸 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 운동 범위는 성별에 따라 차이가 크지 않았다. 표준편차 역시 남녀 모두에서 유사한 크기를 가졌다. 그러나 운동 범위에서 차이가 나타나는 관절은 팔꿈치로 여성이 남성보다 운동범위가 낮게 나타났다. 그러나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.082). 이것은 전체적인 보행패턴이 남성과 여성이 유사하나 여성이 보행시 팔꿈치를 적게 움직이는 경향이 있음을 보여준다. 이러한 사실은 보행실형시 육안으로 구별 가능한 정도의 차이로 나타났다. 성별에 따라 운동 범위의 차이가 크지 않은 이유는 개인마다, 그리고 관절부위마다 일정하지 않았고 편차 역시 매우 크게 나타났기 때문으로 생각된다.

Fig. 3은 운동의 복잡성을 나타내는 LZ 계산값을 각 관절에 대하여 나타내었다. 결과값은 어깨, 팔꿈치, 고관절에 대해서는 여성이 남성보다 보다 높게 나타났으며 목과 무릎은 낮았고 발목은 남녀 모두 유사한 값을 보였다. 통계적 유의성이 있는 관절부위는 Fig. 3에 표시된 왼쪽 팔꿈치, 양쪽 고관절, 그리고 오른쪽 무릎이었다. 운동각 신호의 복잡성이 높다는 것은 신호 자체가 일관성이 없기 때문에 시간에 따른 변화가 매우 크다는 것을 의미한다. 해석 결과 복잡성이 높은 관절이 남성과 여성마다 서로 다른 부위에서 나타남을 알 수 있었다.

운동 범위와 복잡성을 동시에 고려하면 여성이 팔꿈치에서 운동 범위는 좁으나 복잡성이 높은 경우가 있다.

반대로 무릎처럼 운동 범위는 약간 넓으나 복잡성은 낮은 경우가 있다. 이러한 각 관절의 운동 형태에 대한 기초자료를 이용하여 성별에 따른 보행 특성을 이해할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 트레드밀에서 보행할 때 젊은 성인 남녀에 대해 총 11개 관절부위의 운동 범위의 차이를 비교해 보았다. 결과적으로 운동범위에 대한 성별의 차이는 통계적으로 나타나지 않았다. 그리고 보행시 각 관절 운동 신호의 복잡성을 계산한 결과 양쪽 고관절이 모두 성별에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있음을 발견할 수 있었다. 본 연구를 통해 제시된 남성과 여성의 정상 보행에 대한 운동 범위 자료와 관절 운동의 시계열 데이터에서 나타나는 굴곡/신전각의 복잡성 자료는 비정상 보행이나 성별에 따른 보행 운동의 비교를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 한국학술진흥재단 2006년 기초연구지원(기초과학 I) 사업(과제번호 D00007)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Dingwell, J. B. and Cusumano, J. P., 2000, "Nonlinear Time Series Analysis of Normal and Pathological Human Walking," *Chaos*, 10(4), 848~863, 2000.
2. Dingwell, J. B., and Marin, L. C., 2006, "Kinematic Variability and Local Dynamic Stability of Upper Body Motions When Walking at Different Speeds," *Journal of Biomechanics*, 39, 444~452, 2006.
3. Dingwell, J. B., and Cavanagh, P. R., "Increased Variability of Continuous Overground Walking in Neuropathic Patients is Only Indirectly Related to Sensory Loss," *Gait and Posture*, 14, 1~10, 2001.
4. Ko, J. H., Son, K., Moon, B. Y. and Suh, J. T., "Gait Study on the Normal and ACL Deficient Patients after Ligament Reconstruction Surgery Using Chaos Analysis," *Journal of KSPE*, 30(4), 435~441, 2006.
5. Stergiou, N., Moraiti, C., Giakas, G., Ristanis, S. and Georgoulis, A. D., "The Effect of the Walking Speed on the Stability of the Anterior Cruciate Ligament Deficient Knee," *Clinical Biomechanics*, 19(9), 957~963, 2004.
6. 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(5), 435~443, 2004.
7. Sprott, J. C., and Rowlands, G., *Chaos Data Analyzer: The Professional Version User's Manual*, Physics Academic Software, Raleigh, North Carolina
8. Kaspar, F., and Schuster, H.G., "Easily Calculable Measure for the Complexity of Spatiotemporal Patterns," *Phys. Rev. A*, 36(2), 842~848, 1987.

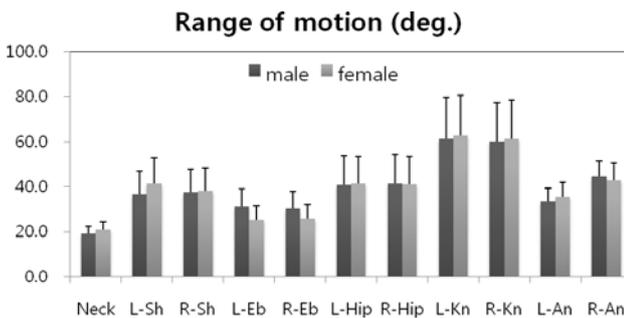


Fig. 2 Range of motion for eleven joints during gait

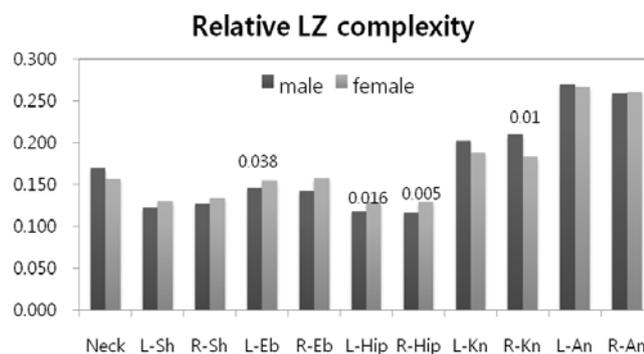


Fig. 3 Results of relative LZ complexity