

노인군과 청년군의 보행 속도에 따른 하지 강성 비교 Comparison of vertical limb stiffness in the elderly and the young

*홍현화, #박수경

*H. H. Hong, #S. K. Park(sukyungp@kaist.ac.kr)
한국과학기술원 기계공학과

Key words : Elderly walking, Vertical stiffness, Gait speed, Energy optimization

1. 서론

인체 보행 운동 연구에서 스프링 모델 (spring-mass model)은 여러 기본적인 보행 특성을 설명할 수 있었다. 최근에는 스프링 모델의 강성이 보행속도가 증가함에 따라 증가한다는 사실을 에너지 관점으로 설명한 연구 결과가 보고되었다 (그림 1). 한편 노인군의 보행 속도가 감소하고 그 편차가 커진다는 사실은 기존 연구들에서 이미 밝혀졌지만, 이를 에너지와의 선형 관계로 설명한 연구는 아직 미미하다. 따라서 본 연구에서는 기존에 청년군에 대해서만 관찰했던 다리 강성과 보행 속도의 관계를 정상 노인군까지 대상을 확장하여 분석해 보고자 한다. 또한 정상 노인군과 청년군의 보행 특성 차이를 운동 역학과 에너지 관점에서 해석하고자 한다.

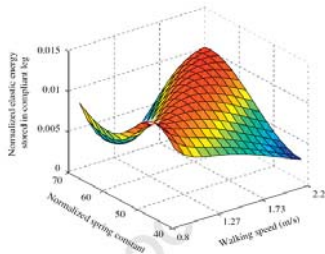


Fig. 1 Model simulation of the elastic energy stored in the compliant leg as a function of the spring constant and the gait speed [Adapted from Kim, S., et.al., 2].

2. 실험 방법

Subjects

균형감각과 보행 관련 장애와 질병이 없는 건강한 청년군 7명과 노인군 8명이 본 연구에 참여하였다. 모든 피험자는 한국과학기술원 생명윤리심의

위원회의 승인을 받은 실험 참가 동의서를 검토하고 이에 서명하였다.

Table 1 Characteristic of subjects

| Subject | Sex (n) | Age (yr) | | Weight (kg) | | Height (m) | |
|---------|----------|----------|------|-------------|-------|------------|------|
| | | X | s | X | s | X | s |
| Elderly | M 4/ F 4 | 68.38 | 4.00 | 60.68 | 9.47 | 1.59 | 0.06 |
| Young | M 6/ F 1 | 22.86 | 1.07 | 67.53 | 11.36 | 1.68 | 0.07 |

Protocols

피험자들은 12 미터 길이와 1미터 너비로 이루어진 보행로를 4가지의 보행 주파수로 걸었다. 보행 주파수는 피험자의 자연스러운 걸음일 때와 가장 빠르게 걸을 때를 측정하여 결정하였다. 본 실험은 세트 당 4가지 보행 주파수를 무작위 순서로 구성하였고, 이를 총 3회 실시하였다. 실험 과정에서 생길 수 있는 피로도의 영향을 줄이기 위해 각 세트 간에 약 5분간의 휴식 시간을 갖도록 하였다.

Measurement

그림 2와 같이 총 3개의 힘판 (AMTI, MA, USA)과 적외선반사카메라(Motion Analysis, CA, USA)를 이용하여 지면 반력과 운동 변화를 측정하였다. 지면 반력 데이터는 200 Hz의 측정빈도로 기록되었고 각각 10 Hz, 30 Hz의 차단 주파수를 사용하였다. 질량 중심의 속도와 위치는 힘판 데이터를 적분하는 방법을 통해 구했다.

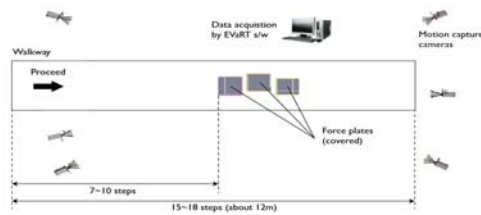


Fig. 2 Experimental setup

Analysis

본 연구에서 하지 강성(vertical stiffness)은 질량 중심의 수직 이동거리에 대한 수직 지면 반력의 비율로 계산하였다 ($K = dF / dx$). 모든 데이터는 보행자의 질량, 키, 중력가속도를 이용하여 무차원 단위로 만들어 정규화(normalized)시켰다 (그림 3).

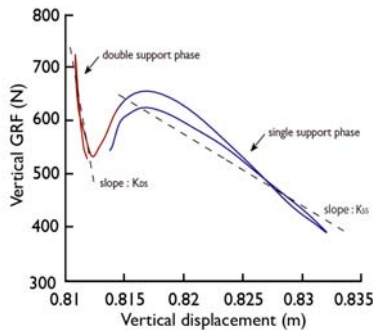


Fig. 3 Vertical stiffness of both double and single support phase for a representative subject data. The slope of a linear fit (dashed line) indicates vertical stiffness of corresponding walking phase.

3. 결과

선행 연구에서 밝혀진 보행 속도와 하지 강성의 관계와 같이 정상 노인군에서도 보행 속도가 증가할수록 강성의 크기가 증가한다는 것을 알 수 있었다 (그림 4). 정상 노인군의 보행 속도 범위는 1.10 m/s 에서 1.50 m/s였고, 청년군의 보행 속도 범위는 1.14 m/s에서 2.11 m/s로 나타났다.

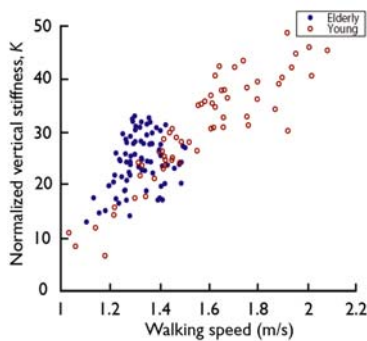


Fig. 4 Lower limb stiffness as a function of walking speed for all subjects (Single support phase).

Table2는 선형회귀법 (linear regression)을 이용

하여 구한 보행 속도에 대한 하지 강성의 관계식을 통계적으로 분석한 것이다.

Table 2 Significance probability of linear regression line ($y=a*x+b$) in Fig. between the young and the elderly subjects

| Subject | a | p-value | b | p-value |
|---------|------------------|---------|-------------------|---------|
| Elderly | 32.20 ± 2.75 | 0.0461 | -26.39 ± 4.41 | 0.0464 |
| Young | 20.92 ± 6.61 | | -3.50 ± 8.74 | |

4. 결론

기존에 청년군에서 관찰된 것과 같이 정상 노인군에서도 보행 속도가 증가함에 따라 하지 강성이 유사한 추세로 증가하였음을 보였다. 이를 통해 보행 속도가 증가함에 따라 사람이 추진 에너지를 최대화하는 특정한 라인을 따르기 위해 하지 강성을 증가시킨다는 기존의 선행 연구 결과를 뒷받침할 수 있다. 한편 하지 강성은 생리학적으로 고관절, 무릎, 발목 등과 같은 각 다리 관절에 걸리는 근력과 관련이 있다. 그러므로 하지 강성을 증가시키기 위해서는 다리의 근력을 증가시켜야 되는데, 노인군의 경우 노화 작용으로 인해 근육이 낼 수 있는 힘이 적다. 이를 통해 정상 노인군의 평균 보행 속도가 청년군의 평균 속도보다 낮게 관찰되는 것을 설명할 수 있다.

후기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. 2010-0020488).

참고문헌

1. Rebula, J.R., O'Connor, S.M. and Kuo, A.D., "Human walking and running: It's all in the re-direction," Dynamic Walking 2009, 2009.
2. Kim, S. and Park, S., "Leg stiffness increases with speed to modulate gait frequency and propulsion energy," Journal of Biomechanics, **44**, 1253-1258, 2011.
3. Gard, S.A., Miff, S.C. and Kuo, A.D., "Comparison of kinematic and kinetic methods for computing the vertical motion of the body center of mass during walking," Human movement science, **22**, 597-610, 2004.