



보행속도변화와 동시 인지과제가 보행 가변성에 미치는 영향

Effects of Walking Speeds and Cognitive Task on Gait Variability

최진승 · 강동원 · 탁계래*(건국대학교, 의공학실용기술연구소)

Choi, Jin-Seung · Kang, Dong-Won · Tack, Gye-Rae*

(Konkuk University, Research Institute of Biomedical Engineering)

국문요약

본 연구의 목적은 트레드밀 보행 시, gait dynamics 측면에서 보행의 속도 변화와 인지과제 수행 시 보행 변인의 가변성(variability)을 알아보고자 하는 것이다. 실험은 인지과제의 동시수행 유/무에 따른 5가지 속도(선호속도의 80%, 90%, 100%, 110% and 120%)에 의한 보행 실험으로 구성되었다. 인지과제의 종류는 학습능력이 없는 인지과제(2-back task)를 수행하였다. 인지과제는 피험자의 트레드밀 보행 시, 3m 앞에 놓여진 스크린에 주어지고 무선마우스를 통해 응답하는 형태로 구성되었다. 실험의 모든 과정은 3차원 동작분석기를 통해 동작데이터를 획득하였다. 이를 통해, 5가지 보행 시간 변인과 3가지 공간 변인을 추출하였다. gait dynamics 측면의 분석을 위해, 가변성의 크기를 살펴볼 수 있는 방법인 분산계수(coefficient of variance)와 변동량의 구조적 자기 유사성을 추론할 수 있는 detrended fluctuation analysis (DFA)를 사용하였다. 그 결과 보행 속도 변화에 따라 보행 변인의 평균값과 분산계수에서 통계적 유의한 차이가 발생하였고, 인지과제의 수행 유/무에 따라서는 DFA에서 통계적인 차이가 발생하였다. 이는 인지과제의 수행에 의해 보행의 발생과 조절 능력에 영향을 끼쳤다고 추론할 수 있다. 본 연구 결과를 명백히 하기 위해 더 많은 수의 피험자 실험과 추가 실험이 필요할 것이다.

ABSTRACT

J. S. CHOI, D. W. KANG, and G. R. TACK, Effects of Walking Speeds and Cognitive Task on Gait Variability. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 18, No. 2, pp. 49-58, 2008. The purpose of this study was to identify effects of walking speed and a cognitive task during treadmill walking on gait variability. Experiments consisted of 5 different walking speeds(80%, 90%, 100%, 110% and 120% of preferred walking speed) with/without a cognitive task. 3D motion analysis system was used to measure subject's kinematic data. Temporal/spatial variables were selected for this study; stride time, stance time, swing time, step time, double support time, stride length, step length and step width. Two parameters were used to compare stride-to-stride variability with/without cognitive task. One is the coefficient of variance which is used to describe the amount of variability. The other is the detrended fluctuation analysis which is used to infer self-similarity from fluctuation of aspects. Results showed that cognitive task may influence stride-to-stride variability during treadmill walking. Further study is necessary to clarify this result.

KEYWORDS : GAIT VARIABILITY, WALKING SPEED, COGNITIVE TASK, DFA, FRACTAL ANALYSIS

I. 서론

인간의 움직임 중, 보행은 자연스럽게 습관적인 자동화된 행동이다. 보행과 동시에 다른 사람과의 대화, 물건의 이동 등의 동시적 일의 수행이 가능하다. 이러한 일의 동시적 수행은 각각의 작업 혹은 양쪽 작업 모두에 영향을 끼칠 수 있다. 이는 각 일의 수행 시, 할당되는 주의력과 밀접한 관련이 있다. 이러한 주의력은 인간의 동작 수행에 의식적, 무의식적으로 인지, 지각, 운동 활동에 할당되게 되고, 이는 각 개인마다 한계를 가지고 있다고 한다(Magill, 2003). 이러한 주의력의 할당과 한계에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

특히 동적 특성을 갖는 운동조절(motor control)과 인지적 특성을 띄는 인지력(cognition)의 상호 작용에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 이러한 상호 작용에 대한 연구에 사용되는 연구방법이 동시작업 수행 능력검정 (dual-task paradigm)으로, 이는 주요작업수행 (primary task)과 이에 영향을 미치는 다른 작업인 추가 작업수행 (secondary task)으로 구성되고, 동시 수행 시 상호간의 효과와 영향에 대해 연구되고 있다 (O'Shea, Morris & Iansek, 2002). 보행은 대표적 운동조절작업이고, 일반적으로 상당히 자동화된 움직임으로 간주되고 있으며, 이러한 특성으로 인해 보행 수행과 인지 실험 시 동시과제로서 자주 이용되고 있고 주로 인지과제의 결과 변화가 주로 연구되었다.

최근 들어 인지과제에 의한 보행 수행 능력의 저하에 대한 관점에서 상호연구가 많이 진행되고 있다. 운동기능이 저하된 파킨슨병 환자의 보행 시, 숫자 뺄셈을 이용한 추가인지작업을 수행하여 보행속도(gait speed), 활보장(stride length)과 분속(cadence) 등의 보행 특성변화를 살펴본 연구(O'Shea et al., 2002)와 고령자의 소리 응답 과제에 대한 보행 시간의 변화를 살펴본 연구(Faulkner, Redfern, Rosano, Landsittel, Studenski, Cauley, Zmuda & Simonsick, 2006) 등을 통해, 운동기능이 저하된 경우에 추가적 인지 자극에 의한 보행의 변화가 연구된 바 있다.

이와 같이 인지 과제 수행에 따른 보행의 상호 영향을 살펴보는 연구에 있어서, 최근 보행의 영향에 대한

평가방법으로 보행 간 변동량 (stride-to-stride fluctuation)을 이용하여 보행자체의 특성을 살펴보는 stride rate variability(SRV)가 많이 이용되고 있다 (Hausdorff, 2007). 이러한 연구로는 동시작업수행, 보행 리듬과 파킨슨병에 따른 보행의 변화양상을 가변성을 이용해 살펴본 연구(Yogev, Giladi, Peretz, Springer, Simon & Hausdorff, 2005), 인지과제 중 하나인 stroop test의 수행을 통해, 이와 step width variability와의 관계를 살펴본 연구(Grabiner & Troy, 2005), 보행 속도변화를 통해 운동조절의 차이에 따른 보행 시공간 변인과 지면반발력의 가변성을 살펴본 연구(Jordan, Challis & Newell, 2007), 일반 성인을 대상으로 한 보행 시 숫자 거꾸로 세기 동시작업 수행을 통한 보행의 가변성 변화를 살펴본 연구(Beauchet, Dubost, Herrmann & Kressig, 2005), 건강한 노인의 보행 속도 변화와 단어 나열 실험(verbal fluency task)과의 동시과제 수행의 관계를 가변성의 변화를 통해 살펴본 연구(Dubost, Kressig, Gonthier, Herrmann, Aminian, K., Najafi & Beauchet, 2006)와 연령과 낙상, 운동수행능력의 역할에 대해 살펴본 연구(Springer, Giladi, Peretz, Yogev, Simon & Hausdorff, 2006) 등에 다양한 목적으로 진행되고 있다. 이러한 보행 시의 가변성을 이용한 접근법은 크기(magnitude)와 보행을 야기하는 원인이 되는 구조(structure)적 개념을 통합하여 'Gait dynamics'라 칭한다(Hausdorff, 2007).

이렇듯 Hausdorff의 정의에 의한 gait dynamics관점으로 운동 작업 수행과 인지 작업의 동시수행에 따른 효과와 영향에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔으나, 일정 운동수행에 따른 인지 작업량의 크기변화와 운동수행 자체의 변화량(보행 속도 변화)에 대한 각 개별의 연구는 진행되었으나, 이 두 가지 작업 수행의 양을 변화시키면서 동시에 살펴본 연구는 거의 없는 실정이다. 특히 비교적 긴 시간(최소 200보 이상)의 보행데이터를 이용하여 긴 시간에 대한 상관관계를 살펴보는 구조적 측면의 접근은 더욱 부족한 실정이다. 보행의 구조적 측면의 연구는 보행에 대한 주의력의 할당에 있어서 보행 움직임 자체의 인지적 부하와 추가 인지과제의 부하에 대한 효과와 영향을 살펴보는데 중요한 관점이라 사료된다.

따라서 본 연구의 목적은 운동자극의 크기 변화로 간주되는 고정된 보행속도에서의 보행 동작 조절과 학습효과가 없는 새로운 인지문제를 통해 운동자극과 인지자극에 대한 효과를 gait dynamics 측면에서 보행 가변성의 크기와 구조측면에서 살펴보고자 한다. 본 연구의 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

1. 트레드밀에서, 보행 속도 변화에 따른 보행 가변성을 살펴본다.
2. 인지과제의 수행이 보행 가변성에 미치는 영향을 살펴본다.
3. 1-2의 결과를 통해, 속도와 인지과제의 동시 수행에 따른 보행 가변성의 영향을 고찰해 본다.

이와 같은 연구 목적을 살펴보기 위한 연구 가설은 다음과 같다.

- H1) 트레드밀 보행 시, 속도에 따라 보행 가변성의 크기와 구조적 분석변인에 변화가 있을 것이다.
 H2) 인지과제의 수행 여부에 따라 보행 가변성의 크기가 증가하고 구조적 분석변인에 변화가 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 실험개요

실험은 최근 1년간 신경-근골격계 질환을 겪지 않은 8명의 피험자(신장:172.25cm, 체중:67.75kg, 연령:25.5세)로 구성되었다. 먼저, 각 개인의 선호보행속도를 구하여 그 속도의 개인별 -20%, -10%, +10%, +20%의 실험속도를 결정하였다. 피험자는 각각 정해진 실험 속도마다 인지과제의 수행 유/무로 보행을 실시하였다. 피험자에게는 실험 전에 실험 목적, 실험 내용 및 실험 참여시에 발생할지도 모르는 부상의 위험에 대해 충분히 설명하고 실험참가확인서에 서명을 받았다. 보행 시 피험자는 정면으로 3m거리에 놓인 스크린을 통해 주어

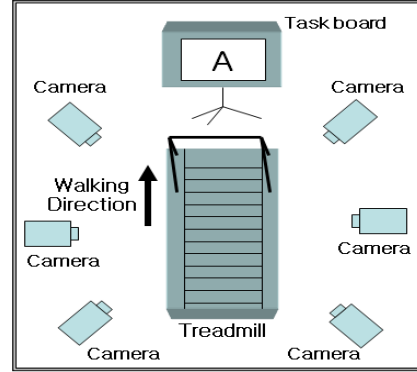


그림 1. 실험구성도

지는 문제를 풀거나, 빈 화면의 중심을 최대한 응시하고 지정된 속도로 꾸준히 걷도록 지시되었다. 실험은 실내에서 트레드밀을 사용하여 수행되었고 Falcon 적외선 카메라 6대로 구성된 3차원 동작분석기(Motion Analysis Corp., USA)를 이용해 샘플링 주파수 120Hz로 신체 동작데이터를 획득하였다.

2. 실험방법

1) 선호속도와 실험속도

피험자의 보행 속도에 자동으로 동기화하여 동작 속도를 조절하는 트레드밀(RX9200S, TOBEONE, Korea)을 이용하여, 10분간 선호보행속도로 일정하게 보행을 실시하였다. 이 중 앞뒤의 각 1분을 제외한 8분의 보행 데이터를 분석에 사용하였다(최진승, 강동원 및 탁계래, 2007). 이를 통하여 구해진 속도의 평균을 각 개인의 선호보행속도(preferred walking speed, PWS)로 결정하였다. 각 개인마다 결정된 선호보행속도에 대해 $\pm 20\%$, $\pm 10\%$ 의 실험속도를 계산하였다. 즉, 피험자는 개인마다 선호보행속도의 80, 90, 100, 110, 120%의 5가지 속도로 인지과제 수행 유/무의 속도별 각 두 번씩의 실험을 수행하였다.

2) 인지 과제 수행 실험

본 연구에 사용된 인지 과제는 학습효과가 없는 n-back (2-back) 과제를 사용하였고, 이는 두 번째 전에 제시된 문자와 동일한 문자가 현재 제시될 경우에 이

를 기억하여 정답 반응 버튼을 누르는 방식이다.

본 연구에서 사용된 인지과제는 3초 간격으로 (1초 동안 알파벳 문자 제시, 2초 동안은 빈 화면 제시) 모두 160개의 알파벳 문자가 제시되어 총 8분 동안 수행되었고, 정답은 총 40개가 있었다. 이 때, 과제의 정답율과 반응시간(reaction time; RT)이 측정되었다. SuperLab 1.07 (Cedrus Co.)을 사용하여 제작된 인지과제는 빔 프로젝터를 이용하여 피험자의 정면 3m 앞에 설치된 스크린에 제시되었다. 인지과제 수행은 트레드밀 보행과 동시에 5가지 속도별로 수행하는 경우와 정지한 상태에서 수행하는 경우의 총 6회를 각각 다르게 구성된 문제로 수행하였다.

3) 보행 수행 실험

모든 피험자는 실험 전에 트레드밀 보행에 적응할 수 있는 충분한 시간을 가졌고, 실험 시 각자 주어진 속도에서 실험을 수행하였으며, 인지 과제 풀이와 보행을 동시에 실시하는 경우와 보행만 실시하는 경우를 각각의 설정된 5개의 실험 속도에서 수행하였다. 피험자는 보행 시, 두 경우 모두 정면의 스크린을 통한 인지 과제 제시화면만을 응시하도록 교육되었다. 실험 수행 시, 피험자는 동작분석기를 통한 동작데이터 획득을 위해 Helen Hayes 마커셋으로 하체의 각 부위에 적외선 반사마커를 부착하였다.

3. 분석방법

측정된 동작 데이터는 보행이벤트의 추출 시 2차 0 지연 Butterworth 필터로 차단주파수 7 Hz로 저역통과 필터를 사용하여 급격한 변화의 데이터 수집 오차만을 제거하여 사용하였다.

최종적으로 얻어진 데이터는 원활한 분석을 위해 O'Connor, Thorpe, O'Malley 와 Vaughan (2007)의 이벤트를 정의, 사용하였고, 이벤트를 바탕으로 시간 변인(stride time, stance time, swing time, step time, double support time)과 공간 변인(stride length, step length, stride width)이 계산되었다. 보행 변인의 계산에 있어, 좌우의 운동능력 혹은 운동조절에 영향이 있을 수 있기 때문에(Pierrynowski, Gross, Miles, Galea,

McLaughlin, & McPhee, 2005), 분석 변인의 계산 시, 피험자의 우세한 쪽의 하지(dominant leg) 데이터를 분석에 사용하였다.

stride length와 step length는 각각 stride time과 step time을 구한 뒤, 트레드밀의 회전속도를 곱하여 첫 번째 착지(Heel strike)지점으로부터 각 착지 시점의 전후방향(anterior-posterior direction)의 \pm 위치이동량을 더하여 구하였다(Jordan et al., 2007). step time은 한 발의 착지 시점과 이와 반대쪽 발의 착지 시점간의 시간으로 구하였고, step length와 step width는 한 발의 착지 시 이와 반대쪽 발의 발끝마커(toe)의 보행 전진 방향의 거리와 좌우방향의 폭으로 각각 결정하였다. double support time (DST)의 경우, 양 발이 모두 지면에 닿아있는 경우로 한 쪽발의 착지 시점에서부터 반대발의 이지(Toe-off)시점까지의 시간으로 정의된다.

가변성의 특성에 영향을 끼칠 수 있는 극도로 예외적인 자료를 제거하기 위하여, 각 변인데이터는 크기순으로 정렬한 후, 아래위 5%를 제외한 90%의 데이터를 이용하여 평균과 표준편차를 구한 후, 원래의 데이터의 값이 앞에서 구한 평균에 ± 3.77 배의 표준편차 폭 이상으로 떨어진 데이터는 제외하였다(Owings와 Grabiner, 2004). 실험의 변인들의 분석은 가변성의 분포 분석에 많이 이용되는 분산계수 (CV, coefficient of variance)와 프랙털(fractal)적 특성을 나타내는 방법 중 하나인 DFA (detrended fluctuation analysis)의 power-law 그래프의 기울기 값(α)의 비교를 통해 살펴보았다(Hausdorff, 2007). 분산계수는 변인의 표준편차를 평균으로 나뉜 값으로 데이터의 차원과는 상관없이 변화량의 크기의 정도를 비교할 수 있다. DFA는 긴 시간 동안의 보행 데이터에서 변동량의 전체적인 시간상의 상관관계의 특징을 나타낼 때 사용한다(Peng, Havlin, Stanley와 Goldberger, 1995). 이 분석법의 계산결과, 최종적으로 얻어지는 α 값을 분석에 이용한다. 이 α 값의 범위가 0.5에 가까울수록 white noise와 같은 형태로, 0.5보다 크고 1보다 작으면 긴 시간범위에서의 상호연관성이 존재하는 것, 즉 변동량이 프랙탈적 특성을 갖는 것을 나타내고, 이 범위 내에서는 상호 값의 크기비교를 통해 상호연관성의 크기비교가 가능하다.

0.5보다 작으면 긴 시간범위에서의 상호연관성이 없는 것으로 추론할 수 있다. 여기서 1보다 큰 값이 발생할 경우, 긴 시간범위에서의 상호연관성은 있는 것으로 볼 수 있으나, 현재 사용한 Power-law의 관계로는 정확한 비교가 어렵다는 특성을 가진다(Jordan et al., 2007; Hausdorff, 2007; 최진승 등, 2007).

분석에 사용된 모든 변인의 계산은 Matlab™ (Mathworks Inc., USA)를 이용하여 구하였고, 결과에 따른 통계분석은 SPSS™ ver. 12k (SPSS Inc, USA)를 이용하였다. 인지과제의 유무에 대한 관계를 살펴보기 위해 독립 t-test를 사용하였고, 보행속도에 따른 변화의 관계를 살펴보기 위해 ANOVA를 사용하였으며, 사후검정은 Tukey를 사용하였다. 두 경우 모두에서 유의 수준은 양방향검정으로 $p < .05$ 로 정하였다.

III. 결과 및 논의

1. 정답률

보행 속도에 따른 인지과제 수행의 결과는 <표 1>에 나타난 것과 같다.

안정 상태는 의자에 앉아서 모니터를 통해 인지과제를 풀이한 경우로 설정하였다. 그 결과, 정답률과 정답 반응시간은 안정 상태에서만 보행과 동시에 수행한 경우와 차이가 나타났으나, 정답반응시간에서만 통계적으로 차이가 나타났다. 하지만 보행속도에 따른 정답률과 반응시간의 차이는 나타나지 않았다. 이 중, 반응시간

표 1. 보행속도에 따른 인지과제의 정답률과 반응시간

보행속도 (%pws)	정답률 (%)	반응시간 (ms)
안정 상태	94.4 ± 4.96	475.6 ± 149.64
80%	91.3 ± 9.73	* 627.8 ± 132.27
90%	89.4 ± 6.23	* 579.2 ± 143.05
100%	93.8 ± 4.23	* 594.2 ± 115.72
110%	92.2 ± 9.40	* 596.0 ± 127.47
120%	90.6 ± 9.04	* 615.0 ± 110.55

* : 안정상태와 유의한 차이를 보임 ($p < .05$) (mean±std)

의 낮은 속도(80%)와 높은 속도(120%)에서 가장 많은 시간이 소모되었으나 동시 과제 수행 시 보다 그 차이는 작았고 통계적인 유의차도 나타나지 않았다.

2. 보행 속도 변화에 대한 결과

보행 속도 변화에 따른 보행변인의 평균, 분산계수, DFA값은 <표 2>에 정리한 바와 같다.

인지과제 수행여부와 상관없이 보행 시, 속도에 따른 변인의 변화는 평균의 경우에 control의 시간변인은 속도의 증가에 따라 유의하게 감소하였고, 공간변인은 step width를 제외한 모든 변인에서 속도가 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 증가하였다. 이는 보행 속도의 증가에 따라 보행 시간과 거리 변인의 크기는 변화하고 보폭(width)에서는 변화가 적다고 볼 수 있다.

분산계수의 경우에서도 이와 유사하게 DST와 step width의 두 변인만을 제외한 대부분의 변인에서 유의하게 감소하였다(#로 표시). 이는 가설 H1)에 대해, 변동폭의 크기는 속도의 증가에 따라 감소한다는 결과를 얻었다. 이는 Jordan 등(2007)의 트레이드오프를 이용한 보행 속도에 따른 가변성 연구 결과와 유사하게 나타났다. 속도가 증가함에 따라 시간변인과 공간변인의 모든 분산계수가 평균의 경우와는 다르게 모두 감소한 것은 가변성의 양이 줄었다는 것을 의미한다. 가변성의 양의 감소는 동작이 보다 제약된다는 것을 의미한다. 이를 통해 보행 속도가 증가할수록 보행 동작은 일정한 패턴으로 변화한다는 것을 뒷받침한다(Jordan et al, 2007). 또 본 실험의 인지과제 수행결과에서도 마찬가지로 속도의 증가에 따라 평균과 분산계수가 감소하였다. 하지만 보행의 구조적 측면을 나타내는 DFA의 α 값의 경우, 모든 변인에서 통계적 유의차가 나타나지 않았다. 두 경우 모두에서 모든 변인의 α 값이 감소하는 형태를 보였으나, 통계적으로 유의차는 나타나지 않았다. 특히 control에서, Jordan 등(2007)의 선행연구 결과에서 보행 속도가 선호속도의 100%와 110% 주변을 변곡점으로 하는 아래가 볼록한 2차 곡선 형태가 나타나지 않았고, 인지과제의 동시수행 경우에만 <그림 2>에서와 같이 DFA의 모든 변인에서 속도에 따라 감소하다가 선호속도의 100%이상의 속도에서 다소 증가하

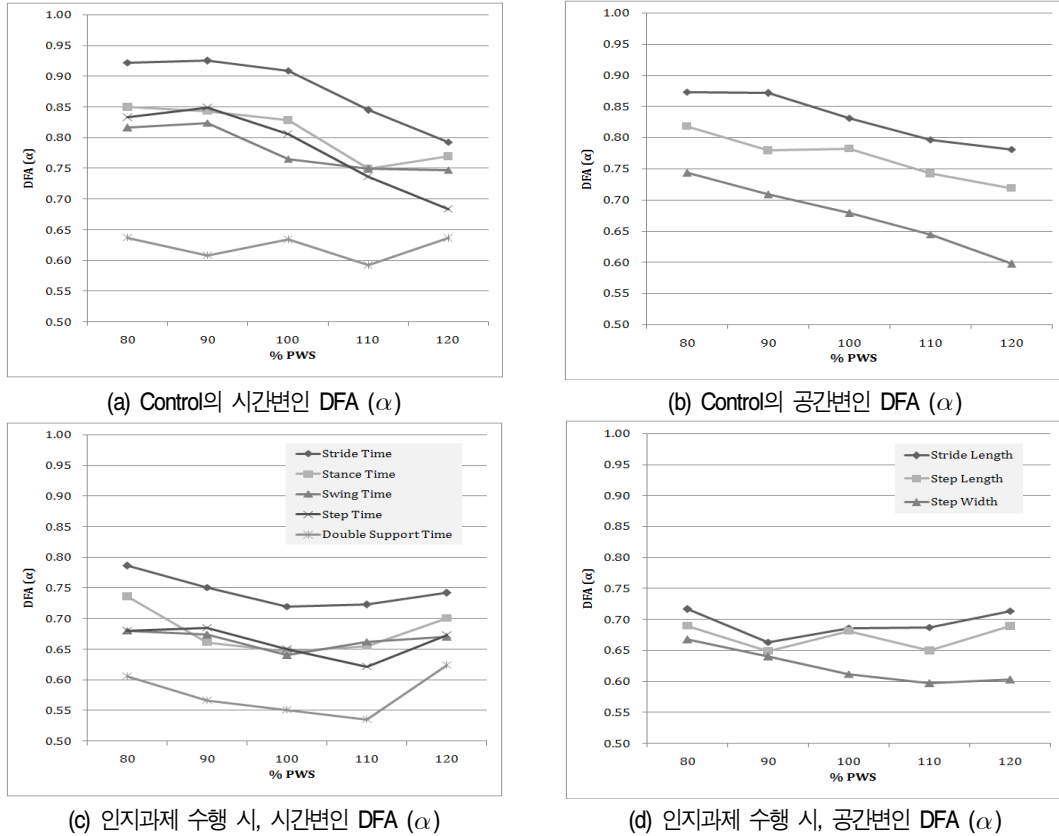


그림 2. 시간변인과 공간변인의 DFA의 결과

는 2차 곡선의 형태를 나타냈다. 이러한 결과는 인지과제 수행 시 보행 속도가 감소한다는 Springer 등(2006)의 선행연구 결과와 관련해 생각해보면, control 보행 시 보다 높은 속도에서 변곡점이 존재할 수 있다고 추론할 수 있다. 즉 선호속도보다 다소 높은 속도(110% 속도)에서 변곡점을 갖는다고 가정한다면, 인지과제 수행 경우의 선호속도는 같은 피험자의 경우에 더 낮은 속도로 결정되게 된다는 의미이다. 이러한 추론의 보다 명확한 확인을 위해서는 현재의 결과의 control에서는 좀 더 높은 속도까지 보행 실험을 수행해 볼 필요가 있다고 사료된다.

3. 인지과제에 의한 결과

인지과제의 수행 유/무에 따른 보행 변인의 결과는 <표 2>에 정리한 바와 같다. 표에 나타난 바와 같

이 각 실험 속도에서 인지과제 동시수행에 따른 평균, 분산계수, DFA의 결과, 평균은 과제 수행과 상관없이 모든 변인에서 유사하게 나타났고, 분산계수는 대체로 인지과제 수행 시에 더 작게 나타났으나 통계적으로 유의한 변인은 100%속도에서 step time뿐이었다. 이에 반해 DFA 결과에서는 80%속도의 swing time, step time, stride length와 step length에서, 90%속도의 stance time과 swing time에서, 100%속도의 stride time, stance time, step time과 stride length에서 인지과제 수행 시 통계적으로 유의하게 작았다(*로 표시). 하지만 100%속도이상에서는 통계적 차이가 나타나지는 않았다. 이러한 결과는 가설 H2)를 만족하는 결과로 인지과제 수행이 보행 가변성에 영향을 끼친 것으로 생각할 수 있다. 여기서 보행 속도 변화의 결과와는 상반되게 평균과 분산계수의 변화가 나타나지 않은 반면, DFA의 여러 변인에서 두 경우의 차이가

표 2. 인지과제 수행유무와 보행 속도 변화에 따른 결과

단위 : Time(sec), Length & Width(m)

Walking speed (% pws)	80		90		100		110		120	
	Control	Task	Control	Task	Control	Task	Control	Task	Control	Task
Stride Time (sec)	1.27	1.26	1.22	1.20	1.16	1.15	1.12	1.11	1.09	1.08
Stance Time (sec)	0.79	0.79	0.75	0.73	0.69	0.69	0.67	0.66	0.64	0.63
Swing Time (sec)	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.46	0.45	0.45	0.44
Step Time (sec)	0.64	0.63	0.61	0.57	0.58	0.57	0.56	0.55	0.55	0.54
Double Support Time (sec)	0.16	0.16	0.14	0.16	0.12	0.12	0.11	0.11	0.09	0.09
Stride Length (m)	1.12	1.11	1.21	1.18	1.28	1.27	1.36	1.35	1.45	1.44
Step Length (m)	0.27	0.28	0.32	0.32	0.35	0.36	0.39	0.39	0.43	0.43
Step Width (m)	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12
Stride Time (sec)	2.11	1.85	1.91	1.43	1.58	1.26	1.40	1.10	1.28	1.10
Stance Time (sec)	2.89	2.38	2.38	1.88	2.05	1.75	1.83	1.56	1.78	1.56
Swing Time (sec)	2.80	2.29	2.30	1.93	2.00	1.67	1.84	1.57	1.67	1.57
Step Time (sec)	2.99	2.53	2.42	1.97	2.05	1.80 *	1.77	1.58	1.73	1.51
Double Support Time (sec)	7.55	6.80	7.10	6.57	7.33	6.10	6.76	6.36	7.56	7.21
Stride Length (m)	2.63	2.01	2.08	1.66	1.84	1.39	1.50	1.24	1.40	1.22
Step Length (m)	7.17	5.60	5.33	4.36	4.48	3.46	3.41	2.98	2.99	2.76
Step Width (m)	18.37	17.01	20.28	16.11	17.37	15.99	18.96	16.82	17.96	15.84
Stride Time (sec)	0.92	0.79	0.93	0.75	0.91	0.72 *	0.85	0.72	0.79	0.74
Stance Time (sec)	0.85	0.74	0.84	0.66 *	0.83	0.65 *	0.75	0.65	0.77	0.70
Swing Time (sec)	0.82	0.68 *	0.82	0.67	0.77	0.64	0.75	0.66	0.75	0.67
Step Time (sec)	0.83	0.68 *	0.85	0.68 *	0.81	0.65 *	0.74	0.62	0.68	0.67
Double Support Time (sec)	0.64	0.61	0.61	0.57	0.63	0.55	0.59	0.54	0.64	0.62
Stride Length (m)	0.87	0.72 *	0.87	0.66	0.83	0.69 *	0.80	0.69	0.78	0.71
Step Length (m)	0.82	0.69 *	0.78	0.65	0.78	0.68	0.74	0.65	0.72	0.69
Step Width (m)	0.74	0.67	0.71	0.64	0.68	0.61	0.64	0.60	0.60	0.60

* (task), # (speeds); p<0.05

발생한 것과 관련하여 몇 가지 추론이 가능하다. 먼저 평지 수 미터의 보행로를 이용한 인지과제의 동시 수행을 실시한 선행연구에서는 숫자 거꾸로 세기 (Beauchet et al., 2005)와 단어 나열 실험(Dubost et al., 2006) 등을 이용했을 때, 분산계수가 본 연구결과와는 달리 증가하는 양상을 보였고, DFA는 짧은 보행시간으로 인해 사용되지 못했다. 이러한 인지과제 실험의 경우, 피험자의 차이, 평지보행로와 트레드밀의 조건 차이, 인지과제 형태와 이에 따른 시각의 과제에 이용 등에 따른 시각 분산 작용의 차이 등에 의해 직접적인 비교가 불가능하다. 따라서 본 연구와 실험 조건이 가장 유사한 스크린을 이용한 stroop 인지과제를 사용하여 step width의 변화만을 살펴본 Grabiner와 Troy(2005)의 선행연구에서, 분산계수의 경우, 트레드밀을 보행에서 step width의 분산계수가 선호보행속도에서 통계적으로 유의하게 감소되었던 것과는 달리, 본 연구결과에서는 100%속도에서 통계적인 유의차가 나타나지 않았다($p=.596$). 다만 step time에서만 유의한 차이가 나타났다. 이러한 차이가 발생한 원인은 현재 연구에서 일반 20대 성인을 대상으로 한 반면, 선행연구에서는 건강한 고령자와 허약한 고령자를 대상으로 했기 때문으로 생각할 수 있다. 이는 건강한 고령자일지라도 주의력, 근력과 관절 가동 범위 등이 일반 성인과 차이가 발생하기 때문이다. 또 주어진 인지과제의 종류를 생각해 볼 수 있다. 2-back 과제와 stroop 과제는 공통적으로 피험자 정면의 스크린을 통해 과제를 제시하고 그에 응답하는 형식으로 과제의 진행방식은 유사하다. 하지만 과제의 내용상으로 2-back 과제는 수행과정에 짧은 순간 기억(short-term memory)과 판단 과정이 필요한 반면, stroop 과제의 경우에 짧은 순간 기억이 필요하지 않다. 원인에 대한 명확한 차이 규명을 위해서는 인지과제의 종류에 따른 추후 연구가 필요하겠다. 또 선행연구에서는 DFA를 이용하지 않아, 직접적인 비교는 할 수 없었으나 2-back 과제의 수행 시에 보행의 구조적 측면을 살펴볼 수 있는 DFA의 결과가 속도별 여러 변인에서 통계적으로 유의한 차이를 나타낸 점은 주목할 만한 것이라 사료된다. 일반적으로 DFA의 α 값이 0.5이상 1.0이하의 범위 내에서 크기가 더 작

아진다는 의미는 긴 시간에 따른 연관성, 즉 프랙탈 특성이 감소하는 것으로 추론된다(Hausdorff, 2007; Peng et al., 1995). 따라서 보행 동작 수행의 구조적 측면에서, 2-back 인지과제의 수행으로 인해 보행의 조절을 위한 자기수용과 조절 능력에 방해가 발생한 것으로 추론할 수 있겠다. 이를 제한된 주의력의 관점에서 다시 해석해보면, 일정하게 제한된 주의력에서 보행수행에 필요한 주의력의 할당부분이 인지과제의 추가적 수행으로 인해 정상적인 역할을 하지 못한 것으로 판단할 수 있다. 또 DFA의 결과가 100%속도 이상에서 통계적 차이를 보이지 않은 것은 보행 속도가 증가할수록 보다 일관된 동작을 보이고, 이러한 동작의 자동화(automaticity)는 실질적인 보행 조절 능력을 벗어나게 된 결과라고 생각해 볼 수 있다. 즉, 적정속도와 외부환경, 적절한 피드백, 일정 수준의 주의력 등을 이용하여 조절되는 보행 메커니즘이 어느 정도 와해되고, 단순 반사적 동작자체만 이루어지게 된 것이라 유추될 수 있다. 이러한 추론을 바탕으로, 평지보행과 달리 트레드밀 보행에서 동시 인지과제 수행 시 분산계수가 감소하는 형태를 나타내는 것은 보행 메커니즘의 와해로 반사적 동작만 이루어지는 상태에서 트레드밀의 꾸준한 움직임이라는 외부환경의 영향이 커진 것이라는 유추를 가능케 한다. 즉, 피드백에 의한 폐루프(close loop)가 개루프(open loop)화 됨을 의미한다(Hreljac & Martin, 1993). 이러한 적절한 피드백과 주의력이 결여된 조건에서는 보행의 안정성이 낮아진다고 유추할 수 있고, 선행연구에서 상체몸통 가속도의 가변성과 step width variability의 상관관계를 통해 살펴본 낙상과의 관계를 함께 생각한다면, 와해된 보행 메커니즘은 낙상과 같은 위험요소와의 관련성을 유추할 수도 있겠다(Grabiner와 Troy, 2005; Moe-Nilssen & Helbostad, 2005). 이러한 상관관계의 분석을 위해서는 현재 연구에서 부족했던 보행 변인 각각의 의미를 살펴보고, 다양한 조건에서의 변화 양상을 정리해 비교할 필요가 있다. 각 조건 하에서의 분산계수와 DFA 값의 상대적 크기 비교뿐만 아니라 이 크기를 결정하는 요인(피험자 개인 특성, 환경 조건 등)에 대한 고찰이 필요하겠다.

IV. 결론

본 연구의 결과를 종합하면, 트레드밀을 통한 보행 속도의 변화와 관련해 보행 변인의 평균과 보행 가변성의 크기를 나타내는 분산계수가 속도에 따라 차이가 나타났고, 인지과제는 과제의 수행력인 응답시간이 안정상태에 비해 보행과의 동시수행으로 증가하였고, 보행변인들의 DFA의 α 값의 변화를 가져왔다. 이는 운동 자극인 속도의 변화에 비해 인지 자극인 인지과제의 동시수행이 과제 자체는 물론, 보행 자체의 구조에 개입을 통한 간섭을 일으킬 수 있다는 결론을 얻었다. 이러한 결과는 비교적 짧은 평지보행로와 시각의 분산이 없는 산술, 언어적 인지과제를 이용한 선행 연구결과와 본질적 차이를 보였다. 이러한 상호관계를 확인하기 위해서는 보다 많은 피험자를 추가하고, 같은 실험조건하에서 다양한 인지과제와 여러 건강상태(연령, 신경병증 등)의 추가 실험을 통한 비교가 필요하겠다.

참고 문헌

- 최진승, 강동원, 탁계래 (2007). 트레드밀을 이용한 보행 간 Variability 분석에 관한 연구. **한국운동역학회지**, 17(4), 1-8.
- Beauchet, O., Dubost, V., Herrmann, F. R., Kressig, R. W. (2005). Stride-to-stride variability while backward counting among healthy young adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(26).
- Dubost, V., Kressig, R. W., Gonthier, R., Herrmann, F. R., Aminian, K., Najafi, B., Beauchet, O. (2006). Relationships between dual-task related changes in stride velocity and stride time variability in healthy older adults. *Human Movement Science*, 25(3), 372-382.
- Faulkner, K. A., Redfern, M. S., Rosano, C., Landsittel, D. P., Studenski, S. A., Cauley, J. A. Zmuda, J. M., Simonsick, E. M. (2006). Reciprocal influence of concurrent walking and cognitive testing on performance in older adults. *Gait & Posture*, 24(2), 182-189.
- Grabner, M. D. & Troy, K. L. (2005). Attention demanding tasks during treadmill walking reduce step width variability in young adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(25).
- Hausdorff, J. M.(2007), Gait dynamics, fractals and falls: Finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Human Movement Science*, 26(4), 555-589.
- Hreljac, A. & Martin, P. E.(1993), The relationship between smoothness and economy during walking, *Biological Cybernetics*, 69, 213-218.
- Jordan, K., Challis, J. H., Newell, K. M. (2007). Walking speed influences on gait cycle variability. *Gait & Posture*, 26(1), 128-134.
- Magill, R. A. (2003). *Motor learning and control; concept and applications*. McGraw-Hill Company, Inc.
- Moe-Nilssen, R. & Helbostad, J. L. (2005), Interstride trunk acceleration variability but not step width variability can differentiate between fit and frail older adults. *Gait & Posture*, 21(2), 164-170.
- O'Connor, C. M., Thorpe, S. K., O'Malley, M. J., Vaughan, C. L. (2007), Automatic detection of gait events using kinematic data. *Gait & Posture*, 25(3), 469-474.
- O'Shea, S., Morris, M. E., Iansek, R. (2002). Dual task Interference during gait in people with parkinson disease: Effects of motor versus cognitive secondary tasks. *Physical Therapy*, 82(9), 888-897.
- Owings, Tammy M., Grabner, Mark D. (2004), Variability of step kinematics in young and older adults. *Gait & Posture*, 20(1), 26-29.
- Peng, C. -K., Havlin S., Stanley, H. E., Goldberger, A. L.(1995), Quantification of scaling exponents

- and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos*, 5(1), 82-87.
- Pierrynowski, M. R., Gross, A., Miles, M., Galea, V., McLaughlin, L., McPhee, C. (2005), Reliability of the long-range power-law correlations obtained from the bilateral stride intervals in asymptomatic volunteers whilst treadmill walking. *Gait & Posture*, 22(1), 46-50.
- Springer, S., Giladi, N., Peretz, C., Yogev, G., Simon, E. S., Hausdorff, J. M. (2006). Dual-tasking effects on gait variability: Role of aging, falls, and executive function. *Movement disorders*, 21(7), 950-957.
- Yogev, G., Giladi, N., Peretz, C., Springer, S., Simon, E. S., Hausdorff, J. M. (2005). Dual tasking, gait rhythmicity, and parkinson's disease: Which aspects of gait are attention demanding?. *European Journal of Neuroscience*, 22(9), 1248-1256.

투 고 일 : 4월 30일

심 사 일 : 5월 6일

심사완료일 : 6월 12일