

보행속도변화에 따른 인지 과제 수행이 보행수 변동성에 미치는 영향

최진승, 유지혜, 김형식, 정순철, 이정환, 이봉수, 탁계래

건국대학교 의료생명대학 의학공학부

(Received October 9, 2006. November 16, 2006)

Effects of Cognitive Task on Stride Rate Variability by Walking Speeds

Jin-Seung Choi, Ji-Hye Yoo, Hyung-Shik Kim, Soon-Cheol Chung, Jeong-Han Yi,

Bong-Soo Lee, Gye-Rae Tack

Department of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of performing a cognitive task during treadmill walking on the stride rate variability. Ten university students (age 24.0 ± 0.25 , height 172 ± 3.1 cm, weight 66 ± 5.3 kg) were participated in dual task experiments which consist of both walking alone and walking with a cognitive task. Two-back task was selected for the cognitive task since it did not have learning effect during the experimental procedure. 3D motion analysis system was used to measure subject's position data by changing walking speed with 4.8, 5.6, 6.4, 6.8, and 7.2 km/hr. Stride rate was calculated by the time between heel contact and heel contact. Accuracy rate of a cognitive task during walking, coefficient of variance, allometric scaling methods and Fano factor were used to estimated the stride rate variability. As the walking speed increased, accuracy rate decreased and the logarithmic value of Fano factor increased which showed the statistical difference. Thus it can be concluded that the gait control mechanism is distracted by the secondary attention focus which is the cognitive task ie. two-back task. Further study is needed to clarify this by increasing the number of subject and experiment time.

Key words : attention focus, walking speed, cognitive task, fractal analysis, variability

1. 서 론

일 반적으로 인간은 어떠한 일의 수행 시에 주의력(attention)이 필요하다. Morgan은 동작을 하는 사람은 주변의 이용 가능한 정보들을 통합하는 인지·지각적 과정에 기초하여 동작수행의 정도를 결정한다고 했다 [1]. Magill은 인간의 동작수행에는 의식적이든, 무의식적이든 인지(cognitive)·지각(perceptual)·운동 활동(motor activity)의 개입이 일어난다고 하였고, 이러한 것을 주의력이라 하였고, 이러한 주의력은 사람마다 정도의 차이가 존재할 수 있고 그 한계가 존재한다고 하였다 [2]. 주의력에 대한 연구를 통해 각 주의력의 특성과 범위를 알 수 있다면, 노인이나 행동, 인지력 장애를 가진 사람이 일의 수행 시에 주의력의 과도한 분

산에 의한 돌발현상을 예방할 수 있고, 정상인의 경우에 일의 수행 시에 따라 주의력의 할당이 사전에 가능하고, 주의력의 분산으로 인한 안전사고 등도 예방할 수도 있을 것이다.

일의 수행에 있어서의 주의력에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 인지과제(cognitive task)와 운동과제(postural task)의 동시 수행에는 제한된 주의력 사용으로 인하여 상호 방해가 발생할 것으로 보는 관점에서 많은 연구가 이루어져 왔다 [3]. 이는 주요수행동작(primary task)과 추가수행동작(secondary task)으로 구성된 동시작업의 수행능력검정시험(dual task paradigm)을 통해서 이루어져 왔다 [4].

인간의 여러 가지 동작 가운데서 보행은 다른 사람과의 대화, 물건 옮기기 등의 동시 작업이 가장 쉽게 이루어지는 자동적이고 습관적인 행위이다 [4,5]. 이와 같이 잘 훈련·적용된 동작수행능력을 자동화(automaticity)라고 한다 [2]. 인간에 있어 동작수행의 자동화가 가장 잘 이루어진 보행은 운동수행과 인지수행을 동시에 실시하는 동시과제수행실험(dual task)에 자주 이용된다. 예를 들어 뇌저신경절(basal ganglia)의 이상으로 인한 운동장애를 가지는 파킨슨병

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-11131-0) 지원으로 수행되었음.

Corresponding Author : 탁계래

충북 충주시 단월동 322 건국대학교 의료생명대학 의학공학부, 의공학실용기술연구소

Tel : 043)840-3762 / Fax : 043)851-0620

E-mail : grtack@kku.ac.kr

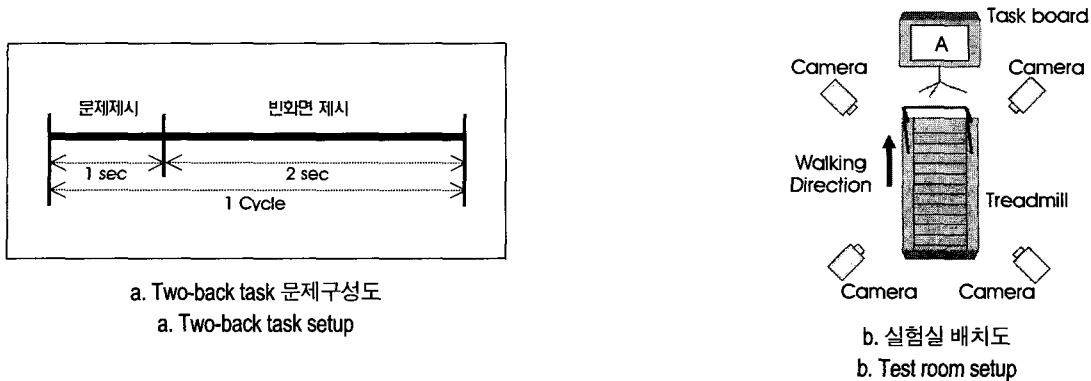


그림 1. 실험 개요 및 실험실 배치도
Fig. 1. Experimental setup

환자는 보행의 수행 자동화에 문제가 있다. 이를 바탕으로 일반인과의 비교운동과 인지력의 동시과제실험에 관하여 많은 연구가 이루어졌다 [2, 5, 6]. 정상인을 대상으로 하여 트레드밀 보행에서의 인지문제인 암기산술계산(mental arithmetic)의 정도에 따라 보행-주행 천이속도(walk-run transition speed)의 변화와 인지반응시간(reaction time)의 변화를 살펴본 연구가 있었다 [7]. 또한 선호하는 보행속도에서의 자유로운 보행(preferred walking)과 선호하는 보행속도가 아닌 상태에서의 강요된 보행(non-preferred walking) 하에서의 보행-주행 천이속도의 변화와 소리에 반응하는 반응시간의 변화를 통하여 주의력과 관계를 살펴보고자 하는 연구도 이루어졌다 [8]. 이와 같은 연구에서는 보행의 수행과 동시에 다양한 인지적 해결 문제를 제시하여 그에 따른 보행의 특성, 즉 운동 특성과 인지 수행 상호간의 수행 방해 작용의 측면에서 살펴본 연구가 많이 있었다. 하지만 이러한 연구는 주로 운동 수행시 인지 수행에 걸리는 반응시간에 초점을 두고 이루어졌으며, 선호하는 보행속도에서의 연구에 주안점을 두어 연구가 진행되어왔으나, 다양한 종류의 보행속도에 따라 인지과제를 동시에 수행하는 연구는 많이 이루어지지 않고 있다.

이에 본 연구에서는 트레드밀 보행 시 인지 과제 수행에 있어서 보행 속도의 변화와 인지 과제 수행에 따른 보행 특성의 변화를 알아보고자 하였으며, 특히 보행수 변동성(stride rate variability)을 이용해 보행속도와 인지과제수행의 영향을 살펴보고자 하였다. West, Hausdorff 등의 선행연구에서 보행의 특성파악을 위해 다양한 분석에 사용되었던 보행수 변동성은 주로 인간의 보행에서 전체보행주기(stride), 입각기(stance)와 유각기(swing)시의 보행 시간 간격(stride time interval), 보폭 변화(step width)등을 이용하여 동작데이터의 평균 데이터만이 아닌, 원래의 데이터 자체를 통계적인 기법을 사용하여 보행상의 프랙탈(fractal)적인 특성을 확인하는 방법이다 [9, 10]. 본 연구에서는 보행 시간 간격(stride time interval)을 이용하여 분석과 인지과제를 수행하면서

트레드밀에서의 보행 시, 보행 속도에 따른 인지과제 수행이 보행수 변동성에 어떠한 영향을 끼치는지를 살펴보기 위해, 분산계수, ASM, FF 등의 방법으로 보행의 변동성을 분석하였다.

II. 연구방법

A. 실험대상

본 실험은 성인 20대 남성 10명(나이 24.0 ± 0.25 , 키 $172 \pm 3.1\text{cm}$, 몸무게 $66 \pm 5.3\text{kg}$)이 참가하였다. 피험자는 골관절 질환, 심장 질환, 호흡기계 질환이 없는 정상적 인지 능력을 가진 건강한 남성으로 하였다. 피험자에게는 실험 전에 실험 방법, 실험 목적, 실험 내용 및 실험 참여시에 발생할지도 모르는 부상의 위험에 대해 충분히 설명하고 실험 참가확인서에 서명을 받았다.

B. 실험개요

본 실험의 구성은 크게 보행속도와 인지과제수행으로 되어있다. 피험자는 각기 5개의 보행속도에서 인지 과제의 수행 유/무로 2회씩, 총 10번의 보행을 실시하였다.

C. 실험방법

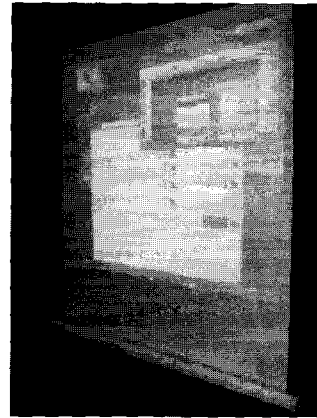
본 실험에서는 피험자가 트레드밀에서 보행을 수행하면서 동시에 주어지는 인지과제 문제를 각 2분씩 풀이하는 방식으로 진행되었다. 한 속도의 실험의 전후에는 충분한 휴식을 취하게끔 하였다. 각 트레드밀 속도는 반복효과와 이월효과를 제거한 통계적인 방법으로 피험자에게 주어졌다.

인지 수행 실험

보행 시에 사용될 인지 수행 문제는 SuperLab 1.07(Cedrus Co.) 프로그램을 사용하여 작성되었고, 빔 프로젝터를 이용해 제시되었다(그림1-b). 다양한 종류의 인지과제문제가 있으나 본 연구에서는 학습효과가 없는 N-back 과제를 사용하기로 하였다.



a. 3차원 동작분석시스템
a. 3D motion capture system



b. two-task 문제제시용 스크린 모습
b. Screen for two-back task problem

그림 2. 실험실 사진
Fig. 2. Test room

N-back 과제 가운데서 실험에 사용된 것은 2-back 과제로서 피험자의 앞쪽에 설치된 화면에 제시되는 알파벳을 보고 푸는 문제로 한 단계가 3초 간격(문제 제시 1초, 빈 화면 2초)으로 구성하여 한번에 하나씩 총 40단계의 문자(알파벳)가 제시되고, 현재로부터 2단계 전에 제시되었던 문자와 같은 문자가 제시되었을 경우 목소리로 대답을 하면 컴퓨터 키보드를 통해 정답으로 채점하는 방식으로 구성되어있다(그림 1-a). 실험은 총 2분으로 구성된다.

모든 피험자는 인지 과제 풀이와 보행을 동시에 실시하는 경우와 보행만 실시하는 경우를 각기 다른 5가지 보행속도 하에서 실험을 행하였다. 실험실의 구성은 트레드밀의 정면에 빔 프로젝터 스크린을 설치하여 피험자가 속도별 보행과 동시에 인지과제 문제를 수행할 수 있도록 하였다(그림 1-b, 그림 2). 피험자는 보행 시 정면 3미터 앞의 인지 문제 제시화면만을 응시하도록 교육하였다.

트레드밀 보행 실험

본 실험에서의 보행속도는 트레드밀(IMAGE 760, ICON Health & fitness, USA)에서 제공하는 속도 중 4.8, 5.6, 6.4, 6.8, 7.2 km/hr를 이용하였다. 각 트레드밀 속도는 반복효과와 이월효과를 제거한 통계적 방법으로 주어졌으며, 피험자들은 보행속도 실험에 앞서 실험에서 요구하는 트레드밀 속도에 익숙해지도록 보행연습을 충분히 반복하였다. 보행속도는 트레드밀과 3차원 동작분석 시스템을 사용하여 측정 및 계산하였다. 보행 중 피검자의 위치좌표의 변화를 기록하기 위해 3차원 동작 분석 시스템(Motion Analysis Corp., Santa Rosa CA, USA)을 사용하였다. 이 시스템은 4대의 팔콘 카메라(high-speed Falcon digital motion capture camera)로 구성되었다. 본 실험에서 x방향은 보행 시 전후(anterior-posterior) 방향, y 방향은 내외(medio-lateral)

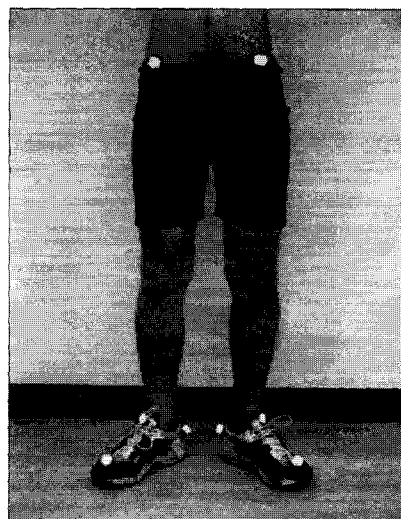
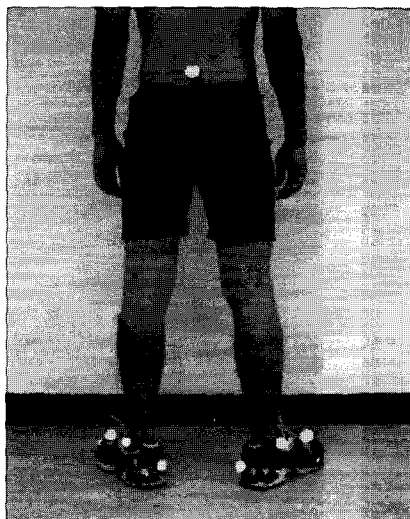


그림 3. 마커 부착 위치
Fig. 3. Marker setup

방향, z 방향은 수직(vertical)방향으로 정하였다. 보행 실험은 인지 실험과 함께 2분 동안 시간 동기화하여 수행되었다.

동작분석시스템은 피험자에게 부착된 마커의 움직임을 샘플링 주파수 120Hz로 획득하였다. 피험자의 운동 데이터를 획득하기 위하여 9개의 반사마커를 피험자의 몸통과 하지에 부착하였다. 부착된 상세한 위치는 그림3과 같다. 신발 두 곳(위앞꿈치(2th-3th metatarsal 사이), 뒷꿈치(Heel), 외측 복사뼈(lateral malleolus), 오른쪽앞엉덩뼈가시(right anterior superior iliac spine), 왼쪽앞엉덩뼈가시(left anterior superior iliac spine), 4th-5th 요추사이(4th-5th lumber spine).

D. 분석방법

측정된 데이터는 2차 0지연 Butterworth 필터(2nd order zero-lag Butterworth filter)의 저역통과필터를 사용하여 데이터 획득 과정에서 마커의 위치와 상관없이 카메라에서 마커를 놓치거나 주변 빛, 마커의 떨림등에 의해 발생하게 되는 신체의 움직임 변화 이상의 급격한 변화가 있는 잡음을 제거하였다. 최적 차단 주파수(optimal cutoff frequency)는 Wells 등이 제안한 나머지 방법(the residual method)을 이용하여 계산하였다. 잡음을 제거할 때 사용된 차단주파수는 개인, 속도, 실험 횟수가 바뀔때 따라 개별적으로 이 방법을 적용했기 때문에 각기 틀리게 계산된다[11]. 이렇게 얻어진 동작위치데이터를 이용하여 보행 시간 간격(stride time interval)을 계산하였다. 보행 시간 간격은 발뒷꿈치와 발위앞꿈치 마커를 이용하여 입각기와 유각기를 구별하는 Hreljac과 Marshall이 제안한 운동학적 데이터만을 이용한 방법으로 발뒷꿈치 지면 접촉부터 같은 발의 발뒷꿈치 지면 접촉까지의 시간으로 구하였다[12].

본 연구에서 알아보고자 하는 장시간 보행 시 속도에 따른 인지 과제 수행이 보행 시간 간격의 변동성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 분산계수(CV, Coefficient of Variance), Allometric scaling methods(ASM)와 Fano factor(FF)의 프랙털 분석법을 사용하였다[9, 10].

첫 번째로 사용한 방법은 분산계수이다. 보행데이터의 특성 분석을 위해 일반적으로 폭넓게 사용되는 평균과 분산 각각은 데이터내에 존재하는 소수의 좋지 못한 데이터에 너무 민감하게 영향을 받는다. 이에 분산 계수를 데이터에 적용하였다. 그 관계는 아래 Equation [1]과 같다[10]. 아래의 Eq. [1]에서 N은 피험자의 수, X는 데이터, \bar{X} 는 데이터의 평균을 나타낸다.

$$CV(X) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^M (X_i - \bar{X})^2}}{\bar{X}} \quad (1)$$

즉, (분산계수) = (표준편차) / (평균)과 같다.

두 번째로 사용된 Allometric scaling methods(ASM)는 시간 간격데이터를 필터링이 아닌 전체 원데이터를 일정 간격(m)을 두

고 모두 합하여 합한 총 개수로 나누어 주어 데이터의 고유의 특성을 간직하도록 하는 Aggregating method를 통해 데이터를 처리한다. 이는 시간간격의 단위가 초단위(second)이거나 분단위(minute)이더라도 추출된 데이터가 일관된 특성을 유지하도록 하는 방법이다[16]. 이렇게 얻어진 데이터들의 평균(mean)과 분산(variance)의 Power-law curve로 나타내어 아래 수식과 같은 선형적인 관계로 도출하는 방법이다[9]. 이러한 관계는 일련의 데이터 순서의 나열에서 전체적인 분포나 분산을 나타내지 않고 상대적인 관계를 살펴볼 수 있도록 해준다. 아래의 Equation [2]에서 VarX는 X의 분산을 나타낸다.

$$VarX = a\bar{X}^b \quad (2)$$

이를 통해 아래 Equation [3]과 같은 log식으로 변환하여 시간 간격 변동성데이터가 정규적인 패턴을 나타내는지, 변동의 폭이 무작위적 특성을 나타내는지 확인할 수 있다.

$$\log VarX(m) = \log a + b \log \bar{X}(m) \quad (3)$$

또한 Fractal dimension(D)을 이용하여 무작위적 특성을 일차원적 수치로 살펴볼 수 있다. 이 D값은 Equation [4]와 같이 구해진다. 이를 통해 보행 시간 간격의 변동성이 정규적으로 변화하는지 랜덤하게 변화하는지 정도를 나타내 볼 수 있다[9, 16].

$$D = 2 - \frac{b}{2} \quad (4)$$

세 번째로 사용된 Fano factor(FF)는 데이터의 평균과 분산만으로 표현되어진다. ASM과 마찬가지로 Aggregating methods를 통해 데이터를 획득, 처리하고 그 관계는 Equation [5]와 같고, Equation [6]를 이용해 α 와 β 의 선형 관계로 표현되어진다[9]. 이는 서로 다른 샘플링이나 크기의 데이터의 직접 비교가 가능케 하여 준다.

$$FF = \frac{variance}{mean} \quad (5)$$

$$\log FF(m) = \alpha + \beta \log m \quad (6)$$

이를 이용해서, m값의 변화에 따라 데이터가 일정한 공통된 의미를 가지고 변화하는지, 그렇지 않은지를 확인할 수 있다.

연구의 분석에 이용된 모든 데이터는 MatlabTM v6.5(Mathworks Inc., USA)을 사용하여 분석하였다. 보행속도의 변화와 인지과제 수행이 보행수 변동성에 미치는 영향이 통계적으로 유의미한지를 알아보기 위해 통계분석프로그램인 SPSSSTM 12.0k (SPSS Inc., USA)를 사용하여, 2요인 피험자 내 반복 측정 설계(2 factor within subject design repeated measure on two factor)에 의거하여 2way-ANOVA로 분석하였다.

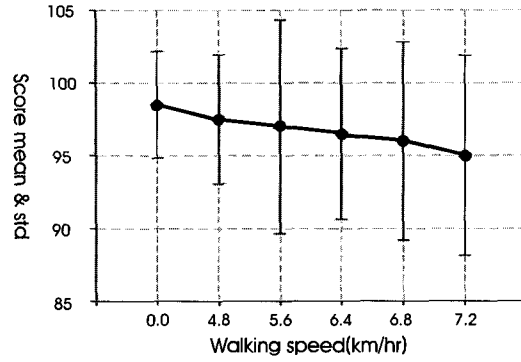
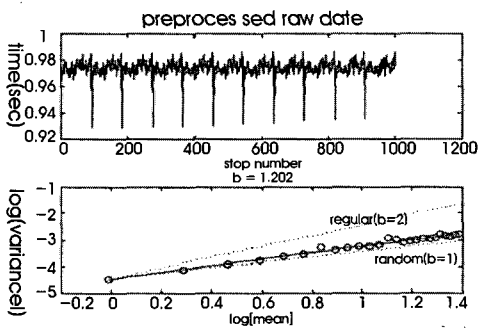
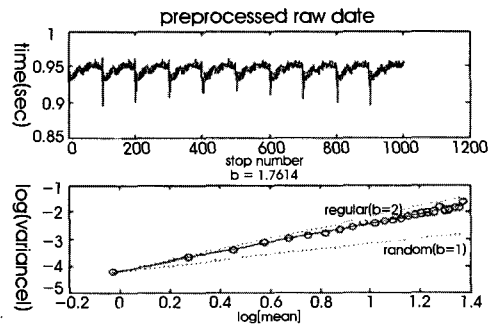


그림 4. 속도별 인지실험 정답률 변화
Fig. 4. Accuracy rate by walking speed

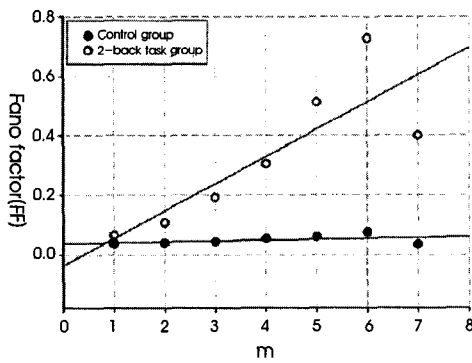


a. 비교군
a. Control group

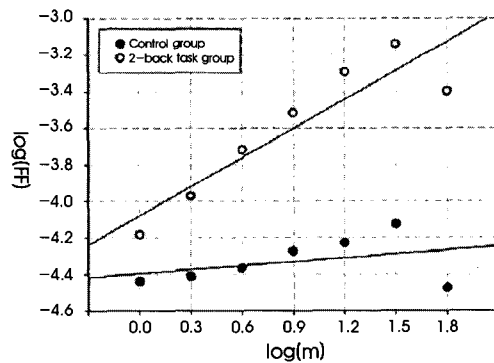


b. 실험군
b. Two-back task group

그림 5. 보행속도 5.6 km/hr에서의 control과 2-back task 수행 시 Allometric 결과 표현의 예
Fig. 5. Typical result of allometric analysis during 5.6km/hr walking



a) 변수 m과 FF와의 관계도
a) m vs FF



b) 변수 log(m)과 log(FF)와의 관계도
b) log(m) vs log(FF)

그림 6. 속도 5.6 km/hr에서의 fano factor의 관계 그래프
Fig. 6. Typical result of Fano factor analysis during 5.6km/hr walking

표 1. 분산계수

Table 1. Coefficient of variance (CV)

		mean ± standard deviation	
Speed	Group	Control	2-Back task
4.8		0.0856 (±0.0049)	0.0807 (±0.0095)
5.6		0.0810 (±0.0044)	0.0802 (±0.0039)
6.4		0.0813 (±0.0068)	0.0727 (±0.0047)
6.8		0.0689 (±0.0066)	0.0834 (±0.0074)
7.2		0.0924 (±0.0245)	0.0661 (±0.0072)

표 2. 프랙탈 차원 변인 (Allometric scaling)

Table 2. Fractal dimensional variables (Allometric scaling)

Variable		D	
Speed	Group	Control	2-back task
4.8		1.7207	1.3700
5.6		1.3990	1.1193
6.4		1.2005	1.0931
6.8		1.3082	1.2583
7.2		1.3947	1.1571

표 3. Fano Factor 결과 데이터

Table 3. Results of Fano factor analysis

	m	1	2	4	8	16	32	64
control	4.8	0.0467	0.0363	0.0364	0.0253	0.0159	0.0074	0.0044
	5.6	0.0363	0.0387	0.0429	0.0531	0.0591	0.0748	0.0334
	6.4	0.0423	0.0597	0.1021	0.1698	0.2488	0.2486	0.1090
	6.8	0.0145	0.0197	0.0290	0.0411	0.0521	0.0453	0.0182
	7.2	0.1226	0.1262	0.1608	0.1990	0.2136	0.2181	0.0974
2-back	4.8	0.0385	0.0452	0.0427	0.0546	0.0740	0.0478	0.0264
	5.6	0.0655	0.1066	0.1916	0.3049	0.5117	0.7281	0.4004
	6.4	0.0932	0.1731	0.3296	0.5862	0.9483	1.2815	0.7154
	6.8	0.0314	0.0303	0.0407	0.0602	0.0885	0.1161	0.0604
	7.2	0.0334	0.0522	0.0912	0.1524	0.2270	0.3269	0.1887

표 4. log(m)과 log(FF) 관계

Table 4. Logarithmic representation of Table 3 (log(m) vs log(FF))

Speed (km/hr)	Group	log(FF)									
		4.8		5.6		6.4		6.8		7.2	
log(m)		ctrl	task	ctrl	task	ctrl	task	ctrl	task	ctrl	task
0		-4.3303	-4.4143	-4.4397	-4.1835	-4.3740	-4.0306	-4.8391	-4.5029	-3.9114	-4.4763
0.3010		-4.4401	-4.3446	-4.4128	-3.9724	-4.2243	-3.7616	-4.7057	-4.5183	-3.8990	-4.2820
0.6021		-4.4388	-4.3697	-4.3672	-3.7176	-3.9908	-3.4820	-4.5382	-4.3909	-3.7938	-4.0400
0.9031		-4.5964	-4.2630	-4.2748	-3.5159	-3.7701	-3.2320	-4.3862	-4.2202	-3.7012	-3.8169
1.2041		-4.7986	-4.1307	-4.2286	-3.2910	-3.6041	-3.0230	-4.2832	-4.0531	-3.6704	-3.6440
1.5051		-5.1285	-4.3203	-4.1259	-3.1378	-3.6045	-2.8923	-4.3442	-3.9354	-3.6613	-3.4856
1.8062		-5.3569	-4.5791	-4.4758	-3.3975	-3.9625	-3.1455	-4.7394	-4.2190	-4.0113	-3.7241

III. 결과 및 토의

실험을 통해 얻은 자료는 각 피험자마다 5가지 보행 속도별, 인지실험 유/무별 보행동작 데이터 및 보행속도별 인지실험을 통한 2-back task의 정답률로 구성된다. 실험을 통해 획득한 데이터를 이용하여 계산된 CV, ASM, FF에 대한 결과는 각각 다음과 같다.

A. 실험결과

속도에 따른 정답률

그림 4는 피험자가 트레드밀 보행에서 속도를 정지상태와 4.8 km/hr에서부터 7.2 km/hr까지 높이면서, 인지과제를 수행했을 때의 정답률의 변화를 보여준다. 그림 4에 왼쪽 첫번째 데이터는 정지상태, 즉 보행을 수행하지 않은 상태에서의 정답률을 나타낸다. 보행속도가 증가함에 따라 정답률이 통계적으로 유의하지는 않으나($F=0.823, P=0.536$) 감소하는 것을 알 수 있었다.

분산계수 (CV)

보행 속도의 증가에 따른 보행 시간 데이터의 분산계수는 표 1과 같다. 낮은 속도에서와는 달리 보행 속도가 6.4 km/hr를 넘어서면서부터 두 그룹간의 분산계수의 차이가 나타났다. 하지만, 통계적인 유의한 차이를 나타내지는 않았다($F=0.313, P=0.868$).

Allometric Scaling Methods(ASM)

ASM에 의한 분석은 다음 그림 5와 같이 표현되어질 수 있다. 그림 5는 전체 데이터 즉, 시간(그림에서 프레임수)에 따른 보행한 주기 시간을 정규화(normalized)한 보행 시간간격 데이터와, regular와 random 가이드라인을 통해 한눈에 무작위적 특성 여부를 알아볼 수 있도록 나타난 그림이다. 여기서 b 값은 Equation [2]에서 변수를 로그취한 값으로 Equation [3]에서 기울기를 나타내는 값이며, Equation [4]를 통해서 fractal 변수인 D 값과 연관되어진다. 이러한 Equation [4]에 따라 b 값 즉, D 값의 크기가 2에 가까운지 1에 가까운지에 따라 속도에 따른 보행 시간 간격이 규칙적이거나 random한 특성을 살펴볼 수 있다. 이 D 값의 비교를 통해 데이터의 fractal적 특성을 쉽게 살펴볼 수 있다. 이것으로 얻어진 $D, r1$ 의 결과는 표 2에서 보는바와 같다. 비교군과 실험군의 속도에 따른 fractal dimension(D)의 값이 유의한 차이는 보이지 않았다($F=0.427, P=0.788$).

그림 5에 나타난 비교군과 실험군(2-back)에서의 fractal 변수들의 값을 살펴보면, 그림 5. a에서 D 값이 실험군의 경우가 비교군의 경우보다 대체로 낮게 나타남을 볼 수 있다. 즉, 비교군의 데이터 값이 더 무작위적 특성을 나타낸다는 것을 의미한다. 또, 6.4km/hr를 중심으로 벗어나는 속도일수록 D 값이 커짐을 살펴볼 수 있다.

Fano Factor (FF)

FF는 다른 특성이나 다른 종류의 데이터를 함께 비교할 수 있고 이처럼 같은 크기로 동일화시켰을 때, 데이터가 일정한 패턴을 유지하지 않고 변화하는 정도를 통해 그 데이터의 random한 정도를 가늠해 볼 수 있다. 표 3은 이러한 FF를 이용해 실험에서 얻은 보행 시간 간격 데이터로부터 구한 값이다. 표 4는 표 3의 m 에 따른 FF값을 Eq [6]과 같이 로그 변환을 해서 $\log(m)$ 과 $\log(FF)$ 의 값으로 나타낸 것이다. 이렇게 구해진 값의 일정한 정도를 통해 fractal적 성질을 가늠해 볼 수 있다. 이 값은 속도에 따라 두 그룹의 차이가 유의하게 나타났다($F=4.9604, P<0.05$). FF의 결과로 볼 때, 비교군에서는 일정한 수준을 유지하는데 비해 실험군에서는 일정하지 않음을 볼 수 있다.

B. 토의

본 연구의 결과를 살펴보면, 안정 상태에서의 인지과제(2-back task) 수행과 속도에 따른 보행시의 인지과제 수행 정답률이 속도가 높아짐에 따라 낮아짐을 살펴볼 수 있었다. 하지만 통계적 유의차는 존재하지는 않았다.

일반적으로 사람의 보행은 눈에 띄는 변동 없이 부드럽게 자연스러운 걸음 패턴으로 걷는다. 이러한 패턴이라는 것은 정지된 균형의 붕괴를 연속적으로 발생시키면서 진행되어진다[9]. 이러한 과정에서 안정적 보행을 수행하기 위해서는 꾸준한 주의력이 필요하게 된다. 특히 보행 시 말초(발바닥)에서부터 꾸준한 자율적 신경피드백 반응과 척수에서의 상호 피드백이 원활히 이루어지고 자연스러운 보행 리듬을 갖기 위한 미세한 보폭시간 조절이 필요하다라고 생각해 볼 수 있다. 장시간 보행의 경우에 일정시간 이상 계속 별다른 외부 자극이 없다면 일정한 패턴의 보행을 수행할 수 있게끔 어느 정도의 자동화, 습관화가 된다고 한다[2].

본 실험에서는 이러한 동작의 자동화가 이루어지고 있는, 즉 최소한의 운동주의력이 필요로 된다고 생각되는 보행동작 수행에 있어서 다섯 가지 속도에 따라 인지 주의력을 요하는 인지과제를 수행하게 함으로써, 보행자체의 패턴 조절에 어떠한 영향을 주는지 알아보았다. 분석에서 FF의 분석을 통해 보행 시간 간격 데이터의 특성을 간직한 채 필터링하는 aggregating 방법으로, 규모(scale)를 일정하게 맞추어 데이터의 변동성의 유무를 판가름해 보았다. 그 유무의 판단을 위해 $\log(FF)$ 와 $\log(m)$ 을 이용해 그림 6과 같이 나타낼 수 있다[9]. 그 결과는 표 3과 표 4에 나타난 것과 같이 가장 낮은 속도를 제외하고 모든 속도에서 비교군의 경우가 일정한 흐름을 갖고 실험군의 경우, 속도가 증가할수록 $\log FF$ 값이 커지는 것을 살펴볼 수 있었다. 이는 비교군에서와는 달리 인지 과제를 수행하는 실험군의 보행 시간 간격이 속도에 따라 보행 자체의 일정 패턴 조절 능력을 잃고 있다고 생각해 볼 수 있다.

비록 통계적인 유의차는 나타나지 않았으나, ASM을 통한 보행 시간 간격의 규칙성에 대한 결과는 표 2의 D 값으로 나타난다. ASM에서 b 값이 2에 가깝게 되면($D=1.5$) 보행 시간 간격데이터

가 random함에 가까움을 의미하게 된다. 실험결과 비교군의 D값이 같은 속도에서 더 크게 나타났다. 이는 인지문제를 수행하지 않고 단지 보행만을 수행한 그룹의 보행 시간 간격의 변동성이 더 random하게 나타난다고 생각할 수 있다. 이는 인지문제를 수행하지 않고 단지 보행만을 수행한 그룹의 보행 시간 간격의 변동성이 더 random하게 나타난다고 판단할 수 있으며 일반적으로 생각해 볼 수 있는 보행만을 수행한 경우가 보다 규칙적, 안정적으로 변동성이 작을 것이라는 관점과는 상반된 결과이다. 이 점을 보행 동작의 생리적, 구조적 복잡한 수행과정과 연관되어 생각해 보면, 인지문제를 사용하지 않는 비교군의 경우, 보행을 원활하게 수행하기 위한 다양한 주의력의 작용들이 보행 수행에서의 신체 안정성을 유지하기 위해 작용하는 주의력의 충분한 활용을 통해 유기적으로 원활히 활동하고 있음을 유추해 볼 수 있다. 반면, 인지수행을 하고 있는 실험군의 경우에 주의력 분산 혹은 할당으로 인해 정상적인 보행활동을 이루지 못한다고 생각해 볼 수 있겠다. 이러한 결과들을 종합적으로 유추해 보면, 이점은 선행연구에서 Daniels 등이 암기산술문제를 계산하면서 수행하는 보행 시 빠른 속도에 대한 어려움의 반응이 둔감해져 보행-주행 천이속도를 지연시킬 것 이라는 연구와 관련지어 생각해 볼 수 있다[7]. 또, 선호하는 보행속도(preferred walking)에서의 실험과 그렇지 않은 보행속도(non-preferred walking)하에서의 실험을 통해 보행-주행 천이속도 변화와 소리에 반응하는 반응시간의 변화 연구에서의 결론과도 흡사하게 생각해 볼 수 있겠다.[8]. 트레드밀 보행의 수행에 필요로 하는 주의력이 지각, 인지, 동작으로 구분된다거나 하나의 주의력의 분배를 가지더라도 [2], 어느 경우에든지 인지수행이 보행동작에 영향을 준 것으로 생각해 볼 수 있는 근거가 될 수 있다. Magill 등이 밝힌 장시간 보행 시 보행은 주의력이 거의 필요로 하지 않는 자동화, 습관화로 나타난다는 것[2]과 본 실험의 결과를 비교해 보면, 최근 Regnaud 등의 연구에서 나타났던 트레드밀 보행자체에도 평지 보행에 비해 일정 주의력을 필요로 한다는 결론에 비추어 추론해 볼 수 있다[14].

평지 보행을 일정시간이상 수행할 경우, 보행은 외부자극이 극히 적은 상태에서 어느 정도 자동화가 되어 질 수도 있다. 하지만, 이와 같은 경우는 일반 평지보행의 경우로 한정될 수 있다고 할 수 있다. 물론 트레드밀이 여러 가지 보행 연구에 있어 평지의 경우와 고관절각 등이 다소 차이가 나타남에도 불구하고 많은 걸음수 데이터 획득의 용이함과 동작분석의 용이함에 기인하여 평지보행 실험 대신에 많이 이용되고 있으나, 본 연구와 같은 주의력 실험의 경우 실질적으로 트레드밀 자체의 속도와 보행특성에 끼치는 영향 등으로 평지보행과는 차이를 나타낸다고 할 수 있다[15].

이를 정리하면, 분산계수(CV)를 통한 데이터의 분포를 살펴본 결과가 비교군의 경우가 더 크게 나타났고, ASM을 통해 구한 D 값 또한 비교군의 경우가 더 크게 나타나서 인지과제 수행 시 보다 보행 시간 간격의 분포가 크고 무작위적 특성을 나타낸다고 볼 수 있으나, FF의 결과를 살펴보면, 비교군이 좀 더 공통된 규칙성을

지니고 있음을 알 수 있다. 이것이 보다 안정적 보행을 유발하는 프랙털적 특성이라 생각해 볼 수 있다. 또 속도에 대해서는 ASM의 결과가 속도 6.4km/hr를 기점으로 위,아래의 속도로 멀어질수록 D값이 커지고 있다. 이것은 실험에서 체계적 기록을 하지 못했던 실제 실험 시의 피험자들의 트레드밀에서의 선호속도(6.4km/hr)의 확인에 대한 새로운 고려가 필요함을 알 수 있다.

IV. 결 론

일반적으로 자동적, 습관적 동작수행으로 최소한의 주의력을 필요로 하는 보행에 보행속도 변화에 따른 인지 문제 수행이 보행 시간 간격 특성에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 통계적 유의한 Fano factor의 결과, 거의 모든 속도에서 비교군의 경우가 일정한 흐름을 갖고 실험군의 경우, 속도가 증가할수록 logFF 값이 커지는 것을 살펴볼 수 있었다. 이는 비교군과는 달리 인지 과제 수행을 하고 있는 실험군의 보행 시간 간격이 속도에 따라 자체의 일정 패턴 조절 능력을 잃고 있다고 추론해 볼 수 있다.

보행수 변동성이라는 측면으로 바라본 실험 결과는 현재결과만으로도 볼 때에 비교군과 결정적 차이나 정확한 원인규명은 어려웠다. 하지만, 분명한 것은 단순한 지면에서의 보행과 트레드밀에서의 보행, 그리고 인지 문제수행을 하면서의 보행에는 보행 시간 간격, 나아가서는 보행 패턴이 비교군의 그것과는 차이가 나타난다는 것이다. 이는 주의력의 할당에 대한 좀 더 깊은 고찰이 필요하다고 사료된다. 보다 결정적 차이를 보이지 못한 원인으로 실험시간이 비교적 짧았던 것으로 보고 추후에 이번 연구에서 사용한 데이터의 획득 시간을 고려하여 Owings 등이 제안한 보행수 변동성 데이터의 분석을 위한 데이터 크기획득을 위해 최소 400걸음에서 700걸음(최소 5분 이상)의 보행데이터의 획득이 필요하겠다[13]. 또 이번 연구에서 제외되었던 선호속도, 속도에 따른 인지수행시 반응시간(Reaction time)와 신체분절의 협응(Coordination)변화, 생리학적 메카니즘 분석, 트레드밀 보행과 평지보행 시의 비교 등을 포함한 다각적, 복합적 연구가 추가적으로 이루어질 필요가 있다.

사람의 주의력 즉, 인지능력과 운동조절에 대한 포괄적인 내용을 설명, 분석하기에는 반응시간, 평지와 트레드밀보행의 차이, 분석적근방법 등의 본 연구가 가지는 한계와 제한점이 많이 있다. 그러나 사람의 활동에 필히 고찰되어야 할 주의력 분할과 집중에 관한 연구의 운동학, 운동역학적 접근이 아닌 Fractal적 접근을 위한 기초자료가 될 수 있다고 판단한다.

참고문헌

- [1] W. P. Morgan, "Psychophysiology of self-awareness during vigorous physical activity," *Research Quarterly for Exercise and Sport (RQES)*, vol. 52, no. 3, pp.385-427, 1981.

- [2] R. A. Margill, *Motor Learning and Control ;concept and Applications*, McGraw-Hill Company, Inc., 2003, pp. 140-165.
- [3] K. A. Faulkner, M. S. Redfern, C. Rosano, D. P. Landsittel, S. A. Studenski, J. A. Cauley, J. M. Zmuda, E. M. Simonsick, S. B. Kritchevsky, A. B. Newman, "Reciprocal influence of concurrent walking and cognitive testing on performance in older adults," *Gait & Posture*, vol. 24, no. 2, pp.182-189, 2006.
- [4] C. G. Canning, L. Ada and S. S. Paul, "Is automaticity of walking regained after stroke?" *Disability and Rehabilitation*, vol. 28, no. 2, pp.97-102, 2006.
- [5] S. O'Shea, M. E. Morris, R. Ianse, "Dual task interference during gait in people with parkinson disease :Effects of motor versus cognitive secondary tasks," *Physical Therapy*, vol. 82, no. 9, pp. 888-897, 2002.
- [6] G. Yoge, N. Giladi, C. Peretz, S. Springer, E. S. Simon and J. M. Hausdorff, "Dual tasking gait rhythmicity, and Parkinson's disease: Which aspects of gait are attention demanding?" *European J. of Neuroscience*, vol. 22, no. 5, pp.1248-1256, 2005.
- [7] G. L. Daniels, K. M. Newell, "Attention focus influences the walk-run transition in human locomotion," *Biological Psychology*, vol. 63, no. 2, pp. 163-178, 2003.
- [8] B. Abernethy, A. Hanna, A. Plooy, "The attentional demands of preferred and non-preferred gait patterns," *Gait & Posture*, vol. 15, no. 3, pp.256-265, 2002.
- [9] B. J. West, L. A. Griffin, *Biodynamics : Why the wirewalker doesn't Fall*, A John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [10] J. M. Hausdorff, "Gait variability: methods, modeling and meaning," *J. of NeuroEngineering & Rehabilitation*, vol. 2, no. 19, 2005.
- [11] R. P. Wells, D. A. Winter, "Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits," in *Proc. the Special Conference of the Canadian Society for Biomechanics (CSB)*, Human Locomotion I, 1980, pp.92-93.
- [12] A. Hreljac, R. N. Marshall, "Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data," *J. of Biomechanics*, vol. 33, no. 6, pp, 783-786, 2000.
- [13] T. M. Owings, M. D. Grabiner, "Measuring step kinematic variability on an instrumented treadmill : how many steps are enough?" *J. of Biomechanics*, vol 36, no. 8, pp.1215-1218, 2003.
- [14] J. P. Regnaud, J. Robertson, D. Ben Smail, O. Daniel, B. Bussel, "Human treadmill walking needs attention," *J. of Neuroengineering and Rehabilitation*, vol 3, no 1, pp.19, 2006.
- [15] F. Alton, L. Baldey, S. Caplan, M. C. Morrissey, "A kinematic comparison of overground and treadmill walking," *Clinical Biomechanics*, vol 13, no 6, pp.434, 1998.
- [16] B. J. West, L. Griffin, "Allometric control, Inverse power laws and Human gait," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 10, no. 9, pp.1519-1527, 1999.