

트레드밀 보행시 인지과제 종류에 따른 보행동작의 변화에 대한 연구 A Study on Changes of Gait Performance by Cognitive Task Types during Treadmill Walking

*최진승, 강동원, 신동인, 문경률, 정순철, #탁계래

*J. S. Choi, D. W. Kang, D. I. Shin, K. R. Moon, S. C. Chung, #G. R. Tack (grtack@kku.ac.kr)

건국대학교 의료생명대학 의학공학부

Key words : Cognitive task, Treadmill walking, Fractal scaling index, Gait dynamics

1. 서론

일반적으로 운동작업과 인지작업의 동시 수행은 한쪽 혹은 양쪽의 작업수행에 모두 영향을 미칠 수 있다. 이는 주의력의 관점에서 한정된 주의력으로 설명되곤 한다[1]. 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 동시작업과 그 영향에 대한 연구는 주로 주 작업(primary task)과 추가 작업(secondary task)으로 구성되는 dual-task 방법을 이용하여 이루어지고 있다. 운동과 인지와의 상호 영향에 대한 연구에서, 보행은 인간의 가장 기초적인 이동수단으로 무의식적, 습관적인 움직임으로써 운동영역의 과제로 많이 사용되고 있다 [2]. 이에 따라 대부분의 선행연구는 무의식적으로 자연스러운 보행의 변화보다는 인지과제의 수행결과에 더 많은 관심이 있어 왔다. 하지만 보행의 자동화된 움직임에도 주의력의 개입이 있으며, 이러한 주의력의 분산은 보행 동작에 영향을 끼칠 수 있다.

최근 보행 동작의 변화에 대한 접근에 있어 보행 변인의 시간에 따른 변동(variability)을 이용하는 "gait dynamics"관점에서의 연구가 이루어져 인지작용에 따른 보행의 변화 측면에서 다양한 연구가 수행되고 있다[2]. Gait dynamics를 이용한 연구들은 트레드밀에서의 속도의 변화에 따른 연구[4], 숫자 거꾸로 세기 혹은 낱말 나열 등의 과제에 따른 주의력의 분산을 바탕으로 보행을 살펴본 연구[5] 등에 다양하게 적용되고 있다. 선행연구에 따르면, 정상인은 인지과제의 자극에 보행의 변화가 거의 없는 것으로 간주되고 있다[1]. 하지만, 이러한 연구에서는 인지과제의 종류의 영향이 비교적 작은 경우와 비교적 짧은 보행로를 이용한 실험을 통한 보행 변화를 살펴본 경우이고, 긴 시간의 자유보행을 통해 긴 시간동안의 데이터 전후관계를 살펴보는 프랙탈분석법을 이용한 분석이 충분히 이루어지지 못했다. 이에 본 연구에서는 속도가 자유롭게 조절되는 트레드밀을 이용해 긴 시간의 자유보행데이터(Free/Fixed condition)를 획득하고, 유사한 형태의 두 가지 인지과제(2-back, stroop 과제)에 대한 정상인의 보행변화를 살펴보았다.

2. 방법

모든 보행 실험동안 Falcon 적외선 카메라 6대로 구성된 3차원 동작분석기(Motion Analysis Corp., USA)를 사용해 피험자의 동작 데이터를 샘플링주파수 120Hz로 수집하였다. 피험자는 정상적인 보행을 하는 대학생 5명 (나이: 25.2세, 키: 169.8cm, 몸무게: 66kg)을 대상으로 하였다. 실험에 사용된 트레드밀은 속도가 자동 조절되는 트레드밀(RX9200S, TOBONE Co. Inc., Korea)을 이용하여 선호보행속도(PWS, preferred walking speed)보행에 도움을 주었다. 이 트레드밀은 각 모서리에 4개의 로드셀을 이용해 피험자의 전후 하중 위치정보를 통해 속도를 조절하도록 되어있다. 피험자는 트레드밀 실험 5번(보행만 수행, 2-back 과제 속도 Free/Fixed 동시수행, stroop 과제 속도 Free/Fixed 동시수행)과 안정 상태에서 두 과제 풀이를 각 1번씩 수행하였다. 2-back 과제는 학습효과가 없고 짧은 시간동안의 기억(short-term memory)을 필요로 한다. stroop 과제는 운동수행기능(executive function, EF)을 살펴보는 데 사용된다. 2-back 과제는 두 번째 전에 제시된 문자와 동일한 문자가 현재 제시될 경우에 이를 기억하여 정답 반응 버튼을 누르는 과제이다. 본 연구에서 사용된 2-back

과제는 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. stroop 과제는 먼저 색상 이름의 글자를 보여주고, 이 때 글자의 색상은 글자가 뜻하는 색상과 다르게 나타낸다. 피험자는 이 글자를 보고 두 개의 글자의 색과 글자가 뜻하는 색상의 상자를 보게 되고 이 중 글자의 뜻과 같은 색상의 상자를 선택하도록 하였다. 이 과제는 120개로 구성되어 있다. 두 과제의 평균 정답률 (accuracy rate; AC)과 평균 반응시간 (reaction time; RT)이 측정되었다. 두 과제는 빔 프로젝터를 이용하여 제시되며, Fig. 1 과 같이 스크린은 피험자의 정면 3m 앞에 설치되었다. 시간에 따른 보행 시/공간 데이터의 변동량(fluctuation)에 대한 분석은 variability의 분포의 크기를 알아보는 데 많이 이용되는 분산계수 (CV, coefficient of variance)와 프랙탈(fractal)적 특성을 나타내는 방법 중 하나인 DFA (detrended fluctuation analysis)의 power-law 그래프의 기울기 값(α)의 비교를 통해 살펴보았다[2]. CV는 변인의 표준편차를 평균으로 나뉜 값으로 데이터의 차원과 상관이 없이 변화량의 크기의 정도를 비교할 수 있다. DFA는 긴 시간동안의 보행 데이터에서 변동량의 전체적인 시간상의 상관관계의 특징을 나타낼 때 사용한다[3]. 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[2,4]. 분석을 위한 보행 변인은 시간변인(stride time interval, step time interval)과 공간변인(stride length, step width)을 사용하였다.

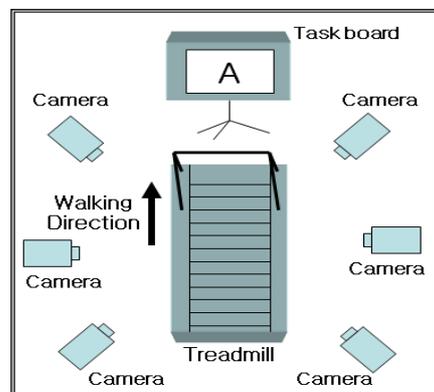


Fig. 1 Experimental set

3. 결과

실험은 인지과제에 따라 rest와 보행속도 PWS(Free)와 고정속도 PWS(Fixed)로 실험하였다. 인지과제의 결과는 Table 1에 나타난 것과 같다. 정답률과 이 두 과제 모두에서 다소 감소하였고, 반응시간은 증가하였다. 특히, Stroop test의 반응시간이 2-back 과제에 비해 더 증가하였다.

4. 결론

본 연구에서는 일반인을 대상으로, 속도가 자유롭게 조절되는 트레드밀을 이용해 선호속도와 고정된 선호속도 보행에 따른 긴 시간의 보행데이터를 획득하고, 유사한 형태의 두 가지 인지과제에 대한 정상인의 보행변화를 평균, CV와 DFA를 이용해 살펴보았다. 일반적으로 건강한 일반인의 경우에 동시과제 수행에 따른 보행의 영향에 변화가 거의 나타나지 않는 것으로 알려져 있으나, 본 실험을 통해 살펴본 바로는 일반 성인의 경우에도 인지과제의 종류나 트레드밀에서의 자유로운 속도 보행과 고정된 속도 보행에 따라 차이가 발생할 수 있다는 결론을 얻었다. 특히, DFA의 고려에 있어, 외부데이터를 통해 그 차이를 살펴보기 힘들었던 공간변인에 대한 고찰이 필요함을 생각할 수 있었다.

참고문헌

1. Frenkel-Toledo, N., Giladi, C., Peretz, T., Herman, L., Gruendlinger, Hausdorff, J. M., "Treadmill walking as an external pacemaker to improve gait rhythm and stability in Parkinson's disease," *Movement Disorders*. 20(9), 1109-1114, 2005.
2. Hausdorff, J. M. "Gait dynamics, fractals and falls: Finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Human Movement Science*," 26(4), 555-589, 2007.
3. Peng, C. K., Havlin S., Stanley, H. E., Goldberger, A. L., Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos*, 5(1), 82-87, 1995.
4. Jordan, K., Challis, J. H., Newell, K. M., "Walking speed influences on gait cycle variability," *Gait & Posture*, 26(1), 128-134, 2007.
5. Grabiner, M. D. & Troy, K. L., "Attention demanding tasks during treadmill walking reduce step width variability in young adults," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(25), 2005.
6. Springer, S., Giladi, N., Peretz, C., Yogev, G., Simon, E. S., Hausdorff, J. M., "Dual-tasking effects on gait variability: Role of aging, falls, and executive function," *Movement disorders*, 21(7), 950-957, 2006.
7. Olivier, B., Dubost, V., Aminian, K., Gonthier, R., Kressig, R. W., "Dual-task-related gait changes in the elderly: does the type of cognitive task matter?" *Journal of Motor Behavior*, 37, 4, 259-264, 2005

Table. 1 Accuracy & Reaction time

	2-Back task			Stroop test		
	Rest	Free	Fixed	Rest	Free	Fixed
Accuracy (%)	98.0	97.5	94.45	98.67	97.17	96.0
Reaction time (ms)	550.40	586.63	604.70	517.44	615.67	676.17

Table 2 는 인지과제 수행 유무와 종류에 따른 보행 변인의 결과이다. Free의 경우, 세 그룹의 모든 변인 평균은 거의 유사했으며, CV값을 이용한 비교에서 시간변인인 stride time과 step time 변인값이 control에서 두 인지과제 수행 그룹보다 크게 나타났다. DFA값에서는 step time 변인에서 control이 두 가지 인지과제보다 더 크게 나타났으며, 공간변인인 stride length는 두 과제의 그룹에서 control보다 큰 값을 가졌다. 모든 변인에서, control과 과제 수행간의 차이는 나타났으나, 2-back과 stroop 과제사이의 차이는 나타나지 않았다. 속도가 고정된 경우(Fixed)에도 변인의 평균값에는 모든 그룹이 유사했고, CV와 DFA값은 같은 그룹의 Free 경우보다 전반적으로 값이 작아지는 경향을 보였다. 특히, stride length의 CV와 DFA값에서 control과 2-back 그룹의 차이보다 두 인지과제간의 차이가 더 크게 나타났다. 자유로운 선호속도 보행과 고정된 속도의 차이로 인해 CV와 DFA의 값이 다르게 나타나는 것을 통해, 속도의 고정여부가 variability에 영향이 있다는 것을 알 수 있었다. 특히 일반 보행로를 이용한 선행연구에서 인지과제를 사용한 경우의 CV값이 증가한다는 것[6]과 상반되게, 본 실험의 결과는 CV값이 작아지는 양상을 보였다. 이는 Grabiner 등(2005)의 연구를 통해 트레드밀의 사용으로 인한 결과로 받아들일 수 있다. 이는 트레드밀의 사용에 따른 variability의 제약과 추가적 인지과제의 사용에 따른 결과로 변동의 크기를 나타내는 CV의 감소가 나타난 것으로 같은 트레드밀 조건하에서의 실험간 비교는 무방하다. 또 인지과제의 종류에 따른 보행의 시간적 혹은 공간적 변인의 변화상이 다를 수 있다고 유추할 수 있겠다. 충분한 피험자와 실험조건을 통한 추가적 실험이 필요하겠으나, 이와 관련해 working 메모리를 필요로 하는 2-back task의 영향과 EF와 주의력의 작용만이 필요한 Stroop test의 경우 보행의 안정성에 미치는 영향이 다른 형태로 작용할 수 있다고 유추해 볼 수 있겠다. 긴 시간의 자유보행, 특히 속도 자동 조절 트레드밀의 이용을 통한 선행연구가 거의 없는 관계로 비교가 불가능하여 명확한 판단은 어렵다. 하지만, 일반적으로 일반인은 동시작업의 수행과 관련해 보행 variability가 일정하다고 알려져 있으나[7], 이는 긴 시간의 자유로운 보행 실험이 부족하였고, 외부 실험을 통한 공간변인에 대한 고찰이 충분치 않은 점을 고려할 때 충분히 예측 가능한 사항으로 생각된다. 특히 variability의 공간 변인에 대한 더 많은 고찰이 필요하다고 생각된다.

Table. 2 The results of mean, CV and DFA

	mean			CV			DFA		
	control	2back	stroop	control	2back	stroop	Control	2back	Stroop
Free									
stride time	1.09	1.04	1.05	1.65	1.26	1.31	0.95	0.87	0.85
step time	0.55	0.52	0.53	2.02	1.64	1.64	0.84	0.70	0.71
stride length	1.28	1.27	1.29	2.16	2.14	2.07	0.79	0.93	0.95
step width	0.02	0.02	0.02	64.23	68.68	71.02	0.50	0.54	0.58
Fixed									
stride time	1.09	1.06	1.07	1.17	1.32	1.14	0.78	0.82	0.71
step time	0.55	0.54	0.54	1.56	1.72	1.59	0.71	0.72	0.64
stride length	1.26	1.24	1.25	1.30	1.46	1.14	0.74	0.76	0.68
step width	0.02	0.02	0.02	72.35	71.19	70.01	0.49	0.54	0.46