

노인의 실행기능 평가와 보행 평가사이의 상관관계 분석

이승민 · 이한숙^{1†}

SRC 병원 성인운동치료실, ¹을지대학교 물리치료학과

Analysis of the Correlation Between Executive Function and Obstacle Gait Evaluation for the Elderly

Seung-Min Lee, PT · Han-Suk Lee, PT, PhD^{1†}

Department for adult exercise, SRC Rehabilitation Hospital,

¹Department of Physical Therapy, Eulji University

Received: July 10 2022 / Revised: July 12 2022 / Accepted: August 5 2022

© 2022 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study aimed to evaluate the correlation between executive function and gait evaluations for the elderly, and validate the obstacle gait evaluation as a cognitive impairment test tool.

METHODS: This study was a cross-sectional design. 79 people aged 65 years or older were selected as subjects. The Korean version of the Mini-Mental State Examination (MMSE-KC) to evaluate overall cognitive function and the Trail Making Test (TMT) A, B to measure executive function were performed. The 4-meter walking speed test and the walking speed test while crossing over an obstacle were carried out to evaluate gait. The Spearman's correlation was used to measure the correlation between cognition and gait speed.

RESULTS: There was no significant correlation between

the 4 m gait speed and executive function(TMT-A ($p = .056$), TMT-B ($p = .115$)). However, there was a significant correlation between the 4 m gait speed and MMSE-KC ($r = .277, p < .05$). There was also a significant correlation between walking speed while crossing over an obstacle and all tests (MMSE-KC ($r = .382, p < .01$). TMT-A ($r = -.327, p < .01$), TMT-B ($r = -.283, p < .05$)).

CONCLUSION: It was found that the gait speed while crossing over an obstacle was correlated with all cognitive function tests. Therefore, we suggest the use of the gait speed test while crossing over an obstacle rather than the simple gait test to diagnose cognitive decline.

Key Words: Cognitive impairments, Executive function, Walking

†Corresponding Author : Han-Suk Lee
leehansuk21@hanmail.net, <http://orcid.org/0000-0002-9336-0894>
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

실행기능(executive function)이란 움직임을 조절하고 생성하기 위해 앞뇌와 뒤뇌 영역의 결질각각 시스템을 사용하고 수정하는 인지과정을 의미한다[1-4]. 실행기

능은 의지(volition), 계획(planning), 목적 행동(purposive action)과 효율적인 수행(effective performance), 집중력(attention)등으로 구성되어 있으며[4], 이중 하나 이상의 실행기능의 요소가 손상 받을 시 보행의 안정성과 효율성에 영향을 미칠 수 있다[5].

실행기능은 이마엽과 연관이 있으며[5], 앞이마엽(prefrontal cortex)과 앞대상겉질(anterior cingulate cortex) 부분 또한 관련 있다[4,6-8]. 또한 이마엽의 변화는 연령과 높은 연관성을 가지며[7], 건강한 노인의 경우 노화에 의한 해부학적 변화가 실행력 감소를 일으킬 수 있다[5]. 이는 유연한 사고(flexible thinking), 반응 억제(response inhibition) 및 창의적 사고(creative thinking)를 저하시킨다[4]. 노화에 의한 인지감소는 정상 노인에서 보편적으로 발생하며, 나이가 들수록 증가하게 되지만 치매와 같은 인지가 손상된 노인에서 더욱 크게 나타난다[9]. 연령과 관련된 인지감소가 반드시 기능부전(dysfunction)수준까지 도달하는 것은 아니기 때문에 실행능력의 손상 진단을 위해 일반적으로 신경학적 검사를 많이 하지만 정확한 진단을 위해서는 지필 평가 뿐만 아니라 일상생활 동작(ADL)또한 같이 평가해야 한다[5]. 또한 정상노화와 무증상적 인지장애를 구별하는 것이 중요하며 이는 정상과 치매사이의 단계를 파악할 수 있다[10].

이중과제(dual tasking)란 두가지 이상의 과제를 동시에 수행하는 것으로[11], 보행에 실행기능 중 하나인 집중력이 필요하지 검사하기 위해 오랫동안 사용된 과제수행모델이다. 효과적인 이중과제 수행을 위해서 두가지 이상의 활동을 동시에 집중하며 적절한 집중력분배가 필요하다[5,12]. 이중과제 수행에 있어서 집중력, 실행기능, 작업기억 같은 인지의 초기장애는 이중과제동안 느린 걸음과 불안정성을 야기하기 때문에 이중과제 수행평가는 미래에 발생할 수 있는 치매 진행 정도나 낙상을 예측하는데 도움이 된다[13]. 일반적으로 이중과제를 평가하기 위해서는 과제수행 중 다른 과제를 제공하여 평가하는데, 장애물 보행[14,15]이나 보행 중 말하거나, 물건을 들고가는 과제를 평가한다[15]. 이중 장애물 보행은 일반적인 걷기의 운동 과제에 장애물을 넘는 다른 운동과제를 추가적으로 동시에 수행하는 이중 과제의 한 유형이다. 이러한 장애물 보행은 일반 보행과 비교하여 앞이마엽의 뇌 활성

화가 더 필요하며[16], 환경적 특성이나 제약을 식별하고 그에 맞는 보행 패턴을 계획 및 조직화하는 높은 수준의 감각과 운동사이의 정보처리가 필요하다[17].

인지기능의 저하 전조 증상 중 하나는 보행속도의 감소로 보행속도가 낮은 노인일수록 인지감소의 감소가 더 크게 나타났다[18]. 인지와 보행속도의 연관성을 조사한 연구에서 일반적인 인지 검사(Mini-Modified Mental state examination: MMSE)보다 실행기능 평가인 디지털 기호 대체 검사(Digit Symbol Substitution Test: DDST)에서 더 강한 연관성을 보였다[18]. 또 다른 연구에 의하면 노인의 길 만들기 검사(Trail making test) 점수를 기준으로 나눈 세그룹간 비교에서 4미터 정상보행에서 그룹간 유의미한 차이는 없었지만, 7미터 장애물 보행에서 그룹별 차이가 존재하고, 복잡한 상황의 보행일수록 실행기능이 중요하다고 설명하였다[14]. Coppin 등[15]은 길 만들기 점수와 보행 중 이중과제 수행 사이에 연관성을 보고하였으며, Holtzer 등[19]은 인지총량검사(cognitive test battery)와 보행속도 사이에서 인지 총량검사 중 실행기능과 기억력이 이중과제 보행속도와 연관성이 있다고 보고하였다. 실행기능과 보행 변동성의 연관성은 일반적인 보행보다 이중과제 사이에서 더욱 현저하게 나타나며, 젊은 사람보다 낙상이 잦은 노인이나 파킨슨같은 신경계 질환이 있는 환자들 사이에서 두드러지게 나타난다[19,20].

하지만, 대부분의 선행 연구가 외국에서 이루어졌으며, 국내의 연구는 다소 부족하였다. 또한, 인지 기능 중 실행 기능의 지필 검사를 대체할 만한 보행 평가의 표준화가 아직 이루어 지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 4미터 일반보행과 장애물 보행의 두가지의 보행 조건에서의 보행속도와 인지기능 중 실행 기능평가 사이의 상관관계를 살펴보고, 지필 인지 검사를 대체할 만한 한국형 보행 검사의 표준화에 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구설계 및 대상자 선정

본 연구는 단면 연구로 기관윤리위원회의 승인을 받

고(EUIRB2021-021), 경기도 성남시 소재 S 노인종합복지관 및 S 노인복지센터에서 2018년 10월 1일부터 2021년 9월 30일까지 실시하였다. 대상자들에게 연구목적에 대한 충분한 연구 설명 후 실험 참여에 동의한 65세 이상 91명의 노인을 모집하였으며 연구 참여에 서면 동의 후 실험에 참여하였다. 연구대상자 선정 조건은 의사소통에 문제가 없는 자, 보행보조도구 없이 10 m 이상 독립적인 보행이 가능한 자, 실험자가 요구하는 지시사항에 충분히 이해할 수 있는 인지수준과 의사소통을 가진 자, MMSE-KC(Mini-Mental State Examination in the Korean version)가 24점 이상인 자로 설정하였다. 대상자의 제외조건은 시각 및 청각에 결손이 있는 자, 보행에 영향을 줄 수 있는 근골격계 또는 신경계 문제를 가지고 있는 자, 실험도중 중도 포기한 자로 설정하였다. 대상자 91명중 단순 변심이나 건강상의 문제로 중도 탈락을 한 12명을 제외한 총 79명으로 실험을 진행하였다.

2. 보행평가

1) 4미터 보행 검사

4미터 보행 검사는 6의 거리를 대상자가 편안한 속도로 걷게 하고, 가속기와 감속기를 고려하여, 처음과 끝 1미터를 제외한 중간 4미터 거리의 보행속도를 측정하였다. 총 두 번 시행 중 평균속도를 사용하였다.

2) 장애물 보행 검사

장애물 보행 평가는 6미터 길이의 보행로에서 중간 위치에 10 cm 높이의 폭 1미터 장애물을 놓고 실시하였다. 대상자는 두발로 출발선에 닿고 서서 평소의 속도로 걷기 시작하도록 지시하였다. 보행속도는 보행로 6미터 중 가속기와 감속기를 고려하여 시작과 끝 각 1미터를 제외한 4미터만 측정하여 속도를 계산하였다.

3. 인지 기능 평가

1) 실행기능 평가: 길 만들기 검사(Trail Making Test: TMT)

실행 기능을 평가하기 위하여 실시한 길 만들기 검사는 무작위로 배치되어 있는 원 숫자(①, ②, ③, ...) 혹은

원 문자(㉠, ㉡, ㉢, ...)를 가능하면 빨리 연결 선으로 연결하도록 하는 검사로, 원 숫자 25개를 순서대로 연결하도록 하는 검사 A와 원 숫자 13개와 원 문자 12개를 교대로 연결하도록 하는 검사 B로 구성되어 있다[21]. 검사 A는 주로 주의력, 순서배열(sequencing), 시공간 탐색 및 인지능력, 운동기능 등을, 검사 B는 이러한 기능과 함께 이마엽 기능에 해당하는 정신적 유연성(mental flexibility)을 평가한다. 측정자는 대상자가 검사를 완료하는 시간을 측정하여 A는 최대 360초까지 B는 300초까지의 제한시간을 두고 측정하였다. 대상자의 검사시간이 제한시간을 초과하면 검사진행이 더 이상 무의미함으로 점수를 A의 경우 360점, B의 경우 300점으로 표시하고 검사를 중단하였다[4].

2) 간이정신상태검사(Mini-Mental State Examination in the Korean version : MMSE-KC)

일반적인 인지기능을 평가하기 위해 한국형 간이정신상태 검사(MMSE-KC)[22]를 사용하였다. MMSE-KC는 장소에 대한 지남력, 시간에 대한 지남력, 기억 등록 및 회상능력, 계산능력, 읽기, 쓰기 등의 기본적인 언어능력과 시공간적 분석 및 구성능력을 측정하는 30점 만점의 간이정신검사이다.

4. 분석방법

자료는 SPSS 20(SPSS Inc, IBM, Korea)를 이용하여 분석하였으며, 일반적인 특성은 빈도분석을 실시하였다. Kolmogorov-Smirnova 정규성 검증을 한 결과 MMSE-KC, TMT-A, TMT-B, 4미터 보행속도는 정규분포를 따르고 장애물 보행속도는 정규분포를 따르지 않음으로 인지검사와 두가지 종류의 보행 속도사이의 상관관계를 스피어만(Spearman)상관분석을 통해 분석하였다. 통계적 유의수준은 .05로 하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자 일반적 특성

본 연구의 대상자 일반적 특성을 기술통계 실시한

Table 1. General Characteristics of the Subjects (M ± SD)

Category	Subjects (n = 79)
Gender (Male/Female)	20/59
Age (yr)	74.23 ± 4.95
Height (cm)	157.08 ± 7.89
Weight (kg)	58.84 ± 9.14
BMI (kg/m ²)	23.77 ± 2.65
MMSE	27.30 ± 2.17
TMT-A	64.844 ± 27.52
tmt-b	203.696 ± 89.67
4M GS (m/s)	0.9485 ± 0.26
OGS (m/s)	0.9491 ± 0.26

Note: Values Given are Mean and Standard Deviation

Abbreviations: MMSE: Mini-Mental State Examination, TMT: Trail Making Test, 4MGS: 4meter gait Speed, OGS: Obstacle Gait Speed

결과는 Table 1에 제시된 바와 같다. 주요 변수의 평균을 살펴보면 연구대상자의 연령은 평균 74.23세(SD = 4.95), 키는 평균 157.08 cm(SD = 7.89), 몸무게는 평균 58.84 kg(SD = 9.14)로 나타났다. 보행평가에서는 4미터 보행속도는 평균 0.9485 m/s(SD = 0.26)이며, 장애물 넘기 보행속도는 평균 0.9491 m/s(SD = 0.26)으로 나타났다. 인지기능 평가에서 MMSE-KC는 평균 27.30(SD = 2.17), TMT-A는 평균 64.844(SD = 27.52), TMT-B는 평균 203.696(SD = 89.67)으로 분석되었다.

2. 보행평가와 인지평가간 상관관계

본 연구의 주요 변수인 MMSE-KC, TMT-A, TMT-B,

4미터 보행속도, 장애물 넘기 보행속도간 상관관계를 확인하기 위해 스피어만 상관관계 분석을 실시하였다. 그 결과 4미터 보행속도는 MMSE-KC($r = .277, p < .05$)와 유의한 양의 상관관계를 보였다. 장애물 보행속도는 MMSE-KC($r = .382, p < .01$)와 유의한 양의 상관관계를 보였고, TMT-A($r = -.327, p < .01$), TMT-B($r = -.283, p < .05$)와 유의한 음의 상관관계를 보였다. 반면, 4미터 보행속도는 TMT-A, TMT-B와 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

IV. 고찰

본 연구는 노인의 인지 중 실행기능과 보행속도의 관련성을 평가하기위해서 4미터 일반조건과 장애물 넘기 보행조건 속도와 인지기능사이의 상관관계를 조사하였다. 인지기능 평가로써 실행기능은 TMT-A와 TMT-B로 평가하고 전체적인 인지를 평가하기위해서 MMSE-KC를 평가하였다. 연구 결과 4미터 보행속도는 MMSE-KC와 유의한 상관관계를 보여줬고, TMT-A와 B에서 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 장애물 보행속도는 MMSE-KC, TMT-A와 B 모두 유의한 상관관계를 보였다. 이는 일반보행에서는 전반적인 인지기능과 보행속도간의 상관관계를 나타냈지만, 장애물 보행에서는 전체적인 인지기능 외에도 실행기능 또한 보행속도와 상관관계가 있다는 사실을 보여준다. 또한, 인지기능 평가와 장애물 보행평가사이의 상관관계 계수에서도 MMSE-KC($r = .382, p < .05$)와 TMT-A($r = -.327,$

Table 2. Correlation Coefficient Between Cognitive Tests and Walking Speed of Subjects (n= 79)

Variables	MMSE	TMT-A	TMT-B	4M GS	OGS
MMSE-KC	1				
TMT-A	-.260*	1			
tmt-b	-.392**	.611**	1		
4M GS	.277*	-.216	-.179	1	
OGS	.382**	-.327**	-.283*	.917**	1

Abbreviations: MMSE-KC: Mini-Mental State Examination in the Korean version of CERAD Assessment Packet, TMT: Trail Making Test, 4MGS: 4M Gait Speed, OGS: Obstacle Gait Speed *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

$p < .05$)는 비슷한 수치를 보여 장애물 보행에서 일반적인 인지검사만큼의 실행 기능 평가도구가 상관성이 있음을 보여준다. 하지만, 상관계수의 수치는 뚜렷한 상관관계를 보이지만 매우 강한 상관을 보이지는 않고 있다. 이러한 이유는 연구에 참여한 대상자의 수가 적기 때문일 것이다. 따라서, 향후 인지 손상이 없는 노인 뿐 아니라, 인지 손상의 유형에 따라 대상자를 폭 넓게 연구할 필요가 있을 것이다.

노인의 인지 처리 능력은 장애물을 피하기 위한 회피 전략을 세우는 것과 연관이 있다[23]. 집안의 문턱이나 계단 같은 작거나 높은 장애물에 직면하게 되면 이러한 환경을 극복하기 위해 정보가 체성감각계를 통해 중추 신경계로 전달되어 통합처리 후 운동 조절 과정을 통해 상황에 적응하여 동작을 수행하게 된다[24]. 이런 신경계의 인지적 처리활동은 움직임을 수행하기전 운동계획 단계로 상위인지처리 과정이며, 이를 통해 독립적 일상생활뿐만 아니라 장애물 보행을 조절하고 억제할 수 있다[25]. 장애물 보행에 있어 주어진 환경에 따른 노인의 장애물 회피 동작 변화는 효과적인 장애물 보행을 계획하거나 프로그래밍 하는데 필요한 중추적 정보 처리의 지연에 기인할 수 있다[21]. 복잡한 동작 과제 수행 시 늘어난 정보를 처리 및 통합하는데 대뇌의 앞이마엽겉질(prefrontal cortex)이 중요한 역할을 하며, 이 뇌 영역의 활동은 주어진 동작과제의 난이도나 관련환경과 관련이 깊다[26,27]. 복잡한 장애물 동작 과제 수행을 위해 사용되는 실행기능은 노인들의 경우 앞이마엽겉질이 노화에 취약하기 때문에 저하된다[28]. 또한, 노화로 인한 실행기능 감소는 이중과제 수행에 있어 어려움을 가져오며[29,30], 보행 시 이중과제를 할 때 보행 속도 감소 같은 특성을 변화시킨다[26].

선행연구에 의하면 노인의 보행속도와 MMSE는 상관관계를 가지며, 인지기능 저하의 전조로 보행속도의 감소를 보여준다고 하였다[14,31]. Mielke 등[32]에 의하면 인지기능 중 기억력과 실행기능, 전체적인 인지의 저하가 발생하기 전에 느린 걸음이 선행되며 보행속도는 인지저하를 예측하기 위한 비침습적 위험인자로 유용하다고 설명한다. 본 연구에서도 선행연구와 같이 MMSE-KC는 4미터 보행속도와 장애물 보행속도에서

유의한 상관관계를 가졌다. 따라서 선행연구의 결과와 같이 전반적인 인지기능이 보행속도에 영향을 줄 수 있다고 생각할 수 있다. 하지만, 실행기능 평가인 TMT-A와 TMT-B에서는 유의한 상관관계를 보여주지 못했는데 이는 단순 보행조건에서는 실행기능의 역할이 필요하지 않기 때문으로 보인다.

실행기능을 평가하는 도구에는 전통적으로 길 만들 기검사가 사용되었으며, 이는 노인에게서 이중과제 시 앞이마엽의 뇌활성화와 유의미한 상관관계를 보여줬다[33]. 본 연구에서도 노인의 실행기능을 평가하는 길 만들기검사와 이중과제인 장애물 보행평가를 실시하여 유의미한 상관관계를 가지는 지를 확인하였는데, 연구결과 일반보행에서는 길 만들기검사가 유의미한 상관관계를 보여주지 못했지만 장애물 보행에서는 유의미한 상관관계를 보여줬다. 이는 TMT-A가 숫자 순서에 맞게 선을 잇는 평가로서 시각적정보 처리 속도와 연관이 있고 TMT-B는 숫자와 알파벳을 순서에 맞게 선을 잇는 평가로 시각정보의 전환 및 분리 주의력을 평가하기 때문에[34], 인지적 요구가 크지 않은 4미터 보행보다 장애물 보행시에 더 큰 인지적 요구가 있어 본 연구와 같은 결과가 나타났다고 생각할 수 있다. 노인이 장애물 보행 시 장애물을 회피하기 위해서 높은 수준의 인지적 활동과 적절한 집중력의 분배를 요구하기 때문에 실행기능의 역할이 중요하며, 본연구의 결과와 같이 낮아진 실행기능이 장애물 넘기 시 보행속도를 감소시키는 것으로 생각할 수 있다.

본 연구에서 인지평가간 상관관계에서 MMSE-KC는 TMT-A, TMT-B와 유의미한 상관관계를 가졌다. 이는 Choi 등[35]에 의하면 앞이마엽과 MMSE간에 유의미한 상관관계를 가지며, 앞이마엽의 둔화는 노인의 전체적인 인지 저하를 선별하고 추적한다고 하였다. TMT-B가 주의력 분배 같은 실행기능의 요구를 더욱 많이 하기 때문에 TMT-A와 MMSE-KC의 상관관계보다 TMT-B와 MMSE-KC에서 더 큰 상관관계를 보여줬다.

본 연구는 일반 보행속도, 장애물 넘기 보행속도 및 인지기능을 평가하여 각 평가간 상관관계를 분석하여 장애물 보행속도 측정이 일반적인 보행속도 측

정보보다 인지저하 진단에 더 유용하다는 결과를 확인하였다. 그러나, 몇 가지 연구의 제한점이 있다. 연구에 참여한 대상자가 적기 때문에 결과의 일반화의 제한점이 있다. 또한, 일반적인 인지평가인 MMSE뿐 아니라 실행기능을 평가하기 위해서 TMT-A와 B를 실시하였지만 스트룹 색상-단어 검사(Stroop Color and Word Test)같은 다른 평가도구도 존재하기 때문에 다양한 인지검사와 상관관계를 분석하지 못하여 결과 해석에 주의가 필요하다. 본 연구에서 일상에서 가장 쉽게 접근할 수 있는 운동 과제로 구성된 이중과제로써 장애물 보행넘기과제를 이용하여 평가하였지만, 단 한 개의 장애물 보행을 평가하는 것이 인지의 부하를 받아들이는 개인의 차이가 존재하기 때문에 인지 손상이 있는 노인들을 위한 세밀한 평가에는 제한이 있을 수 있다. 따라서, 향후 연구에서는 다양한 인지기능평가와 복잡한 이중과제 모델을 제공하고 평가하는 할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구의 결과를 통해 4미터 보행평가에서는 MMSE-KC만이 상관관계를 보였고 장애물 보행평가에서는 실시한 모든 인지검사와 유의미한 상관관계를 가졌다. 4미터 보행평가보다 장애물 보행평가가 보행 시 환경에 따른 적절한 반응을 만드는 인지적 요구를 더욱 필요로 하기 때문에 모든 인지기능평가와 유의미한 상관관계를 가진 것으로 보았다. 따라서 인지감소를 예측 및 진단하기 위해서는 일반 보행조건보다는 장애물 보행조건에서 평가하는 것이 적절하다고 사료된다.

Acknowledgements

이 연구는 한국 연구 재단의 지원을(MSIT) 받아 실시하였음(No. NRF-2018R1D1A1B07047562).

References

- [1] Adams RL, Parsons OA, Culbertson JL, et al. *Neuropsychology for clinical practice: Etiology, assessment, and treatment of common neurological disorders*. American Psychological Association. 1996.
- [2] Fuster JnMJAPS. Synopsis of function and dysfunction of the frontal lobe. *Acta Psychiatr Scand*. 1999;99:51-7.
- [3] Goethals I, Audenaert K, Van de Wiele C, et al. The prefrontal cortex: insights from functional neuroimaging using cognitive activation tasks. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2004;31(3):408-16.
- [4] Lezak MD, Howieson DB, Loring DW, et al. *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press, USA. 2004.
- [5] Yogev-Seligmann G, Hausdorff JM, Giladi Nir. The role of executive function and attention in gait. *Mov Disord*. 2008;23(3):329-42.
- [6] Raz N. *Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. 2000.
- [7] Reuter-Lorenz PA. *Cognitive neuropsychology of the aging brain*. Psychology Press. 2000:93-114
- [8] Stuss DT, Levine BJArp. *Adult clinical neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes*. *Annu. Rev. Psychol*, 2002;53:401-33.
- [9] Park HL, O'Connell JE, Thomson RGIJogp. A systematic review of cognitive decline in the general elderly population. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2003;18(12):1121-34.
- [10] Petersen RC, Stevens JC, Ganguli M, et al. Practice parameter: early detection of dementia. *Mild cognitive impairment (an evidence-based review)*. Report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. 2001;56(9):1133-42.
- [11] Pellecchia GLJJomb. Dual-task training reduces impact of cognitive task on postural sway. *J Mot Behav*. 2005;37(3):239-46.
- [12] Nishiguchi S, Yamada M, Tanigawa T, et al. A 12-week

- physical and cognitive exercise program can improve cognitive function and neural efficiency in community-dwelling older adults: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc*. 2015;63(7):1355-63.
- [13] Montero-Odasso M, Verghese J, Beauchet O, et al. Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *J Am Geriatr Soc*. 2012;60(11):2127-36.
- [14] Ble A, Volpato S, Zuliani G, et al. Executive function correlates with walking speed in older persons: the InCHIANTI study. *J Am Geriatr Soc*. 2005;53(3):410-5.
- [15] Coppin AK, Shumway-Cook A, Saczynski JS, et al. Association of executive function and performance of dual-task physical tests among older adults: analyses from the InChianti study. *Age Ageing*. 2006;35(6):619-24.
- [16] Mirelman A, Maidan I, Bernad-Elazari H, et al. Effects of aging on prefrontal brain activation during challenging walking conditions. *Brain Cogn*. 2017;115:41-6.
- [17] Yun JE, Lim CH, Choi SH, et al. The effects of multiple obstacles and cognitive task on the obstacle gait in older adults. *The Korean Society of Sports Science*. 2021;30(5):281-91.
- [18] Best JR, Liu-Ambrose T, Boudreau RM, et al. An evaluation of the longitudinal, bidirectional associations between gait speed and cognition in older women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2016;71(12):1616-23.
- [19] Holtzer R, Verghese J, Xue X, et al. Cognitive processes related to gait velocity: results from the Einstein Aging Study. *Neuropsychology*. 2006;20(2):215.
- [20] Springer S, Giladi N, Peretz C, et al. Dual-tasking effects on gait variability: The role of aging, falls, and executive function. *Mov Disord*. 2006;21(7):950-7.
- [21] Wu Jong-in. *The Korean Version of CERAD Clinical Assessment Battery*(2thed). Seoul. Seoul National University Press. 2015
- [22] Lee JH, Lee KU, Lee DY, et al. Development of the Korean Version of the Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease Assessment Packet (CERAD-K) clinical and neuropsychological assessment batteries. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2002;57(1):47-53.
- [23] Yun, Jung-Eun, Park, Jin-Hoon. The effects of contexts of obstacle conditions on obstacle negotiation characteristics in older adults. *KSSS*. 2022;31(1):293-303.
- [24] Choi Seung-Wook, Lee So-Eun. Development of Fall Prevention Exercise Program in elderly women. *KSSS*. 2008;17(2),669-78.
- [25] Alvarez JA, Emory EJ. Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychol Rev*. 2006;16(1):17-42.
- [26] Allali G, Assal F, Kressig RW, et al. Impact of impaired executive function on gait stability. *Dement Geriatr Cogn Disord*. 2008;26(4):364-9.
- [27] Haefeli J, Vögeli S, Michel J, et al. Preparation and performance of obstacle steps: interaction between brain and spinal neuronal activity. *Eur J Neurosci*. 2011;33(2):338-48.
- [28] Buckner RL. Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*. 2004;44(1):195-208.
- [29] Priest AW, Salamon KB, Hollman JH. Age-related differences in dual task walking: a cross sectional study. *J Neuroeng Rehabil*. 2008;5(1):1-8.
- [30] Wadley VG, Okonkwo O, Crowe M, et al. Mild cognitive impairment and everyday function: evidence of reduced speed in performing instrumental activities of daily living. *Am J Geriatr Psychiatry*. 2008;16(5):416-24.
- [31] Buracchio T, Dodge HH, Howieson D, et al. The trajectory of gait speed preceding mild cognitive impairment. *Arch Neurol*. 2010;67(8):980-6.
- [32] Mielke MM, Roberts RO, Savica R, et al. Assessing the temporal relationship between cognition and gait: slow gait predicts cognitive decline in the Mayo Clinic Study of Aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2013;68(8):929-37.
- [33] Ohsugi H, Ohgi S, Shigemori K, et al. Differences in dual-task performance and prefrontal cortex activation

between younger and older adults. *BMC Neurosci.* 2013;14(1):1-9.

[34] Korte KB, Horner MD, Windham WKJAn. The trail making test, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set? *Appl Neuropsychol.* 2002;9(2):106-9.

[35] Choi J, Ku B, You YG, et al. Resting-state prefrontal EEG biomarkers in correlation with MMSE scores in elderly individuals. *Sci Rep.* 2019;9(1):1-15.