

보행기호잇기검사: 새로운 신체 및 인지 기능에 대한 이중 과제 평가도구로서의 효용성에 대한 예비연구

엄주리 · 이병주^{1†}

부산대학교병원 의생명연구원 연구원, ¹부산대학교병원 재활의학과 교수

Stepping Trail Making Test: Preliminary Study for the Effectiveness of the Novel Dual Task Assessment Tool for Physical and Cognitive Functions in Elderly

Ju-Ri Eom · Byeong-Ju Lee^{1†}

Researcher, Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital

¹Professor, Department of Rehabilitation Medicine, Pusan National University Hospital

Received: October 21 2022 / Revised: October 28 2022 / Accepted: January 11 2023

© 2023 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: Falls are caused by a decline in physical and cognitive function. A quantitative evaluation tool that can comprehensively evaluate motor and cognitive functions for elderly people with an impaired physical function. This study assessed the clinical application potential by confirming the correlation between the physical function tests, cognitive and the stepping trail-making test (S-TMT).

METHODS: Fourteen community-dwelling older patients (65-75 years) were recruited. The study conducted cognitive function tests with the trail-making test (TMT-A, B), and physical function tests (6-minute walking test (6MWT), short

physical performance battery (SPPB), and timed up and go (TUG)). The results of were analyzed using SPSS version 21.0. Descriptive statistics were used for the general characteristics of the study subjects, and the correlations between S-TMT, other functional tests were examined through Pearson's correlation analysis. The statistical significance was set to .05.

RESULTS: S-TMT had a significant positive correlation with the TUG ($r = .588^*$) and trail-making test-B (TMT-B) ($r = .689^*$, $p < .05$). Furthermore, S-TMT showed a negative correlation between SPPB ($r = -.397$) and 6MWT ($r = -.422$), but it was not statistically significant.

CONCLUSION: S-TMT is a cognitive-gait dual-task performance evaluation tool that can be performed safely. A significant correlation was confirmed between the TUG test and the TMT-B. S-TMT is a dual-task screening tool that can evaluate both physical and cognitive functions simultaneously.

Key Words: Aged, Cognition, Physical functional performance, Trail making test

†Corresponding Author : Byeong-Ju Lee
lbjinis@naver.com, <http://orcid.org/0000-0002-7250-8909>

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

신체활동이 감소한 노인에게서 인지기능의 저하가 나타남이 여러 연구에서 보고되고 있으며[1,2], 65세 이상 노인 1,681명을 관찰하여 일주일에 3시간 이상 신체 활동을 한 집단이 그렇지 않은 집단에 비해 인지기능 저하가 61% 적게 나타났다고 하였다[1]. 인지기능 저하는 노인의 낙상 발생을 일으키는 중요한 위험 요소 중 하나로 우리나라 전체 노인의 15.9%가 낙상 사고에 대한 경험이 있으며, 낙상을 경험한 이후 병원에서 치료받은 노인의 비율은 72.5%에 달한다[3]. 또한 노인 입원환자 중 50% 이상이 낙상과 관련이 있으며[4], 손상으로 인한 사망의 40% 이상을 차지[5]하면서 오랜 기간 지속되는 통증과 기능장애는 종종 엄청난 사회경제적 손실을 동반한다. 낙상 문제를 지닌 노인은 손상 및 기능장애로부터 회복이 쉽지 않고, 젊은 사람들에 비해 합병증이 심해 사망에 까지 이를 수 있으며[6], 손상을 입지 않았다 하여도 낙상에 대한 두려움이 커지고 이로 인해 신체 활동과 기능이 감소되기 쉽다고 하였다[7].

낙상으로 인해 신체기능의 감소가 초래되고 이는 인지기능의 저하와 밀접하게 연관되어 있지만 인지 건강에 대한 체계적 연구가 많지 않아 이에 대한 근거가 명확하지 않다[8]. 이를 함께 효과적으로 관리할 수 있는 방법을 찾아 적용시킬 필요가 있으며, 선행연구를 보면 노인 대상 프로그램 참여 전후의 뇌 부피 변화를 분석하였을 때 유산소 운동이 반응속도와 문제해결을 담당하는 뇌 기능 쇠퇴 예방에 도움을 주고 일상생활과 인지기능 향상에 관여한다고 하였다[9]. 대표적인 유산소 운동으로 보행을 들 수 있는데, 보행 시 형성된 패턴은 정지된 균형의 붕괴를 연속적으로 발생시키며[10], 보행 시 과제 수행이 주어졌을 때 보행 속도가 증가할수록 보행 패턴 조절 능력이 떨어진다[11]고 하여 다른 운동들 보다 유체 인식과 관련이 깊을 것으로 보인다. 안정적인 보행을 위해서는 꾸준한 주의력이 요구되어[11] 보행은 치매에 대한 좋은 예측 변수인 동시에 인지기능 저하를 선별하기 위한 좋은 도구로 특별한 다른 도구가 필요 없어 수행이 용이하다[12]. 또한 선행 연구에 따르면 심폐기능은 인지와 밀접한 관계가 있어 [13], 임상에서는 트레드밀을 이용한 보행을 통하여 운

동부하 검사를 실시하기도 하며[14], 오래 걷기 검사를 통해 일상생활 능력을 추정 할 수 있다[15]고 하여, Coope[16]에 의해 개발된 12분 보행 검사가 사용되기도 했으나 최근에는 시행의 편리성 때문에 12분보행검사와 높은 상관성을 보이는 6분보행검사가 주로 사용되고 있다[17]. 이와 같이 보행은 신체 기능 및 활동 과 밀접한 상호 관계에 있는 인지기능[18]에도 영향을 미치는 것으로 보이거나 현재까지 신체 기능과 인지기능을 동시에 평가 할 수 있는 정량적 평가도구가 없어 신체 및 인지 기능에 해당하는 각각의 평가 도구를 사용하고 있으며, 평가에 걸리는 시간 등을 고려할 경우 시행의 불편함이 따라 효용성이 떨어진다. 최근에는 인지적 기능을 수행 하며 보행을 하는 이중 과제 수행 보행의 효용성이 알려지고 있다.

이중 과제 수행은 하나의 과제를 수행하면서 동시에 다른 과제를 수행하거나 또는 지속적으로 두가지 이상의 여러가지 과제를 수행하는 것을 말한다[19]. 제한된 수행능력으로 이중 과제를 수행하는 경우 단일 과제 수행보다 더 많은 집중을 필요로 하고, 과제 수행을 위한 효율적인 집중 분배에 대한 어려움이 따르게 된다 [20]. 또한 인지적 기능 요구와 같은 주의력 간섭은 운동 과제를 수행하게 되는 동안 방해요소로 작용되는데 숫자 계산과 같은 내부적으로 방해하는 인지 과제는 외부적으로 방해하는 과제보다 높은 집중력을 요구하여 보행 동작의 변화에 더 큰 영향을 준다[20,21,22].

선행연구에서 보행기호잇기검사(Stepping trail making test, S-TMT)가 운동기능을 위한 스텝과 인지기능을 위한 시각 의존적 실행을 구성하는 이중 과제 도구로서 신뢰성이 있는 평가 도구로 확인 되었으며[23], S-TMT는 치매와 경도 인지 장애를 예측할 수 있다고도 발표하였다[24]. 그러나 한국인을 대상으로 S-TMT를 평가하는 기존 문헌은 없었으며, 현재 임상에서 주로 사용되고 있는 기능적 평가 도구들과 상관관계에 대한 연구 또한 부족하다. 따라서 한국인을 대상으로 기존 재활 현장에서 널리 이용되는 여러가지 기능적 평가도구들과 S-TMT간의 연관성을 확인하여 이중 과제 수행 평가 도구로서의 S-TMT의 임상적 활용 가능성에 대하여 알아보고 재활 운동 및 평가 프로그램 개발에 대한 아이디어를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

1) 대상자 선정기준 : 본 연구는 신체 기능 및 인지 기능과 관련하여 이중 과제 수행 평가도구 개발 전 예비 연구로 S-TMT가 이중과제수행 보행으로 타당한지에 대해 알아보고자 하였다. 부산시 소재 병원에서 연구의 목적과 절차를 이해하고 자발적인 동의를 통해 임상연구 참여를 희망하며, 독립적 생활이 가능한 임상적 쇠약 도구[25] 1, 2, 3단계에 해당되는 독립적으로 일상생활을 수행할 수 있는 만65세 이상 ~ 만75세 이하의 대상자(남녀 각 7명)를 대상으로 선정하였다. 본 연구는 부산대

학교병원 생명윤리위원회의 승인(2105-023-103)을 받아 절차에 따라 진행되었으며, 일반적인 특성은(Table 1)과 같다.

2. 연구 절차

본 연구에서는 중재 전 연구 대상자의 일반적인 특성과 함께 신체 기능과 인지 기능 평가를 시행하였다. 신체 기능 평가는 신체기능지수(Short Physical Performance Battery: SPPB)에서 제시하는 균형 능력, 4 m보행 능력, 5회 의자에서 서고 앉기 능력 검사(Five Times Sit to Stand Test: 5TSTS)를 시행하였고, 일어서서 걷기 검사(time to up and go: TUG), 6분보행검사(6Minute Walk Test: 6MWT)를 시행하였다. 또한 인지기능평가를 위해 기호잇기검사(Trail Making Test: TMT), 실시하였으며, 모든 인지기능 평가 및 신체기능 중재 적용은 담당의사 및 물리치료사의 지도하에 병원내 각 검사실에서 시행하였다.

3. 측정방법

- 1) 신체 조성은 나이(age), 키(cm), 몸무게(kg), 체질량지수(BMI), 종아리 둘레(cm)를 측정하였다.
- 2) 흡연력과 교육 연수는 설문지를 통하여 흡연의 유무(non-smoking/past/present) 및 교육 연수(year)에 대하여 조사하였다.
- 3) 신체 기능 평가도구

(1) 신체기능지수(SPPB)를 평가하기 위해 균형 능력 검사는 일반 자세(10초이상 유지 시 1점), 반 일렬 자세(10초이상 유지 시 1점), 일렬 자세(10초 이상 유지 시 2점, 3초~10초 미만 1점, 3초 미만 0점) 순서로 검사하였으며, 4 M 보행 검사(4 Meter Walking Test: 4MWT)는 시작 지점을 설정한 뒤 일직선으로 4 m떨어진 곳에 도착 지점을 정하여 평소 걷는 속도로 시작 지점에서 도착 지점에 닿을 때까지 의 시간을 측정하였다. < 4.82초: 1점, 4.82~6.20: 3점, 6.21~8.70: 2점, > 8.7초: 1점, 통증이나 다른 사유로 인해 수행하지 못하였을 경우는 0점으로 채점 하였다. 5TCST는 양팔을 쓰지 않고, 의자에 앉은 상태에

Table 1. General characteristics of the subjects

Variables	Overall (N = 14)
Age (years)	70.14 ± 3.76
Sex, men/women	7/7
Height (cm)	159.59 ± 9.68
Body weight (kg)	62.08 ± 10.08
Body mass index (kg/m ²)	24.32 ± 2.99
Calf circumference (cm)	35.06 ± 2.59
Smoking (non-smoking/past/present)	7/6/1
Education period (years)	9.29 ± 3.77
Physical performance test	
SPPB	10.92 ± 1.14
Balance	3.79 ± .43
Gait speed (m/s)	3.93 ± .27
5TCST	3.21 ± .80
TUG	8.98 ± 1.57
6MWT (m)	471.64 ± 70.06
Cognitive function tests	
TMT-A (sec)	56.89 ± 23.24
TMT-B (sec)	157.79 ± 61.93
S-TMT (sec)	14.70 ± 5.03

SPPB; short physical performance battery, 5TCST; five timed chair-stand test, TUG; timed up and go test, 6MWT; 6minute walking test, TMT; trail making test, S-TMT; stepping trail making test

- 서 시작하여 최대한 빨리 5번 일어나고 앉음을 반복하여 그 시간을 측정하였다. ≤ 11.19초: 4점, 11.20~13.69초: 3점, 13.70~16.69초: 2점, ≥ 16.77초: 1점, 1분초과 시 0점으로 채점 하였다.
- (2) 일어서서 걷기 검사(TUG)는 의자에서 일어나 3 m의 거리를 돌고 다시 의자에 앉기까지 시간을 측정하였다. 시간 제한은 없었으며 멈추고 싶거나 쉬고 싶을 때 설 수 있도록 하였으나 앉아서 쉬지는 못하게 하였다.
- (3) 6MWT는 확보된 직선거리 30 m에서 보조도구 사용을 허락하여 6분동안 독립적으로 가능한 빠른 속도로 많은 거리를 걷도록 하고 속도와 휴식 시간은 대상자가 스스로 조절하도록 하였다.
- 4) 인지기능 평가 도구로 기호잇기검사(TMT)를 사용하였으며, TMT-A는 운동 속도와 시각적 탐색 속도, 집중 기능을 검사하며 원으로 둘러싸인 숫자 1에서25까지 올바른 순서대로 연결하게 하고 소요시간을 측정하였다. TMT-B는 계획, 조직, 집중력을 평가하기 위하여 숫자"1"에서 "13"과 한글"ㄱ"에서 "ㄷ"까지 숫자와 자음을 교차로 연결하게 하고 소요시간을 측정하였다.
- 5) 이중 과제 평가 도구로 S-TMT의 측정은 1 M²의 정사각형안에 무작위로 배열된 1~16까지 숫자를

올바른 순서대로 연결하여 밟게 하였다. 연습 후에 학습효과를 피하기 위해 모든 참가자는 실제 시험의 번호 순서와 다른1~16의 숫자로 연습하도록 하였으며, 연습 후 1~16까지 모든 숫자를 밟는데 걸리는 시간을 측정하였다(Fig. 1).

4. 자료분석 방법

본 연구의 결과는 SPSS version 21.0 프로그램을 사용하여 분석하였다. 상술한 모든 검사 결과 값은 연속 변수이며, 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk와 Kolmogorov-Smirnov 검정을 시행하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 기술 통계를 사용하였고, Pearson's상관관계분석을 통하여 S-TMT와 다른 기능 검사들 사이의 상관관계를 보았다. 유의 수준은 .05로 설정하였다.

III. 결과

본 연구의 결과, S-TMT는 TUG, TMT-B와 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 있었다($p < .05$). S-TMT와 SPPB, 6MWT 사이에는 음의 상관관계를 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았으며($p > .05$), SPPB, TMT-A와는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다($p > .05$) (Table 2).

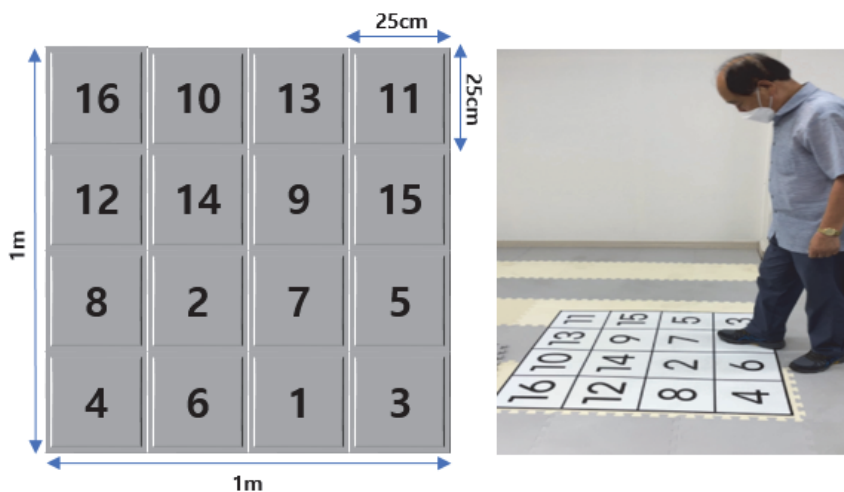


Fig. 1. Method of S-TMT performance: Measure the time step on the numbers from 1 to 16 (25×25 cm) located on a 1 M² square.

Table 2. Correlation matrix between the S-TMT and motor and cognitive function tests

	S-TMT	SPPB	TUG	6MWT	TMT-A	TMT-B
S-TMT		-.397	.588*	-.422	.286	.689*
SPPB			-.628*	.239	-.007	-.685*
TUG				-.610*	.077	.408
6MWT					-.061	-.369
TMT-A						-.144
TMT-B						

Data were shown as p. Spearman's. * $p > .05$., S-TMT; stepping trail making test, SPPB; short physical performance battery, TUG; timed up and go test, 6MWT; 6minute walking test, TMT; trail making test

IV. 고 찰

본 연구는 낙상의 위험에 노출되어 있는 노인을 대상으로 신체 기능 평가와 함께 인지 저하를 동시에 예측할 수 있는 이중 과제 평가도구를 개발하기 위한 예비 연구로서 S-TMT와 기존 임상에서 흔히 사용하고 있는 여러 신체기능평가도구, 인지기능평가도구들과의 상관관계를 분석하여 S-TMT가 이중 과제 수행 평가도구로서 적절한가에 대해 자세히 알아보았다. 그 결과, S-TMT는 TUG, TMT-B와 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 있었지만, SPPB, TMT-A와는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다. S-TMT와 TUG의 결과를 보면, S-TMT의 측정 소요 시간이 짧을수록 인지 및 신체적 기능이 좋을 것으로 예측할 수 있다. TUG 또한 기능적 운동성과 이동 능력을 측정할 수 있는 검사방법[26]으로 S-TMT와 양의 상관관계가 확인되었다.

또한 인지기능 평가인 TMT-A와 TMT-B역시 S-TMT의 수행 결과와 양의 상관관계를 보일 것으로 예상되었으나 연구결과 TMT-B만 유의한 상관관계를 보였다. TMT-B는 단순히 숫자의 순서만 요구하는 과제인 TMT-A의 검사와는 달리 한글의 자음의 개념까지 요구되는 더 복잡한 기능이 필요한 평가 도구로[27] 선행 연구에 따르면 오랜 시간 검사에 임할 수 없고 학력이 낮은 노인들에게 용이하게 실시할 수 있도록 개발된 단축형 TMT인 Korean-Trail Making Test for the Elderly (K-TMT-e)의 결과에서도 단순히 숫자를 순서대로 찾아서 잇는 TMT-A에 비해 정해진 순서 없이 흩어져

있는 도형을 시지각적으로 구분하여 교대로 번갈아 잇는 TMT-B에서 오류가 많이 발생한다고 하였다[28]. 또한 TMT-A는 TMT-B에 비해 높은 수준의 인지기능을 요구하지 않으며, 일반적으로 치매환자에게 있어서 높은 수준의 인지기능부터 저하되므로 치매 선별 검사에서 유용한 지표로는 TMT-B가 적합하다[28]. 따라서 본 연구에서도 연구 대상자의 대부분이 TMT-A를 너무 쉽게 수행하여 S-TMT와 유의한 상관관계를 나타내지 못하였을 것으로 생각되며, 선행연구와 같이 본 연구의 결과로 비추어 보았을 때, TMT-A는 정도의 인지 장애를 평가하는 임상 도구로서의 효용성이 떨어질 것으로 생각된다.

또한 S-TMT는 SPPB, 6MWT 사이에서 음의 상관관계를 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았는데 S-TMT는 숫자의 인지를 요구하는 이중 과제 수행 훈련이기 때문에 인지능력이 떨어질 경우 대상자의 신체적 기능이 좋아도 S-TMT를 수행 완료하는데 걸리는 시간에 많은 영향을 미치게 될 것으로 보였다. 본 연구의 대상자는 정상의 인지기능이 확인되었다. 평가 시 앉은 자세에서 일어서기, 걷기의 연결 동작을 요구하는 TUG와는 다르게 6MWT은 6분동안 걷기동작만을 요구하는 평가이며, SPPB 또한 균형, 보행, 앉고 일어서기 각각의 동작 검사를 통해 신체기능을 평가[29]하는 다면적 평가 도구이기는 하지만 각각의 검사가 따로 시행 되기 때문에 각 검사 시에는 한가지 동작만 수행하게 된다. 특히 SPPB의 하위 항목인 균형 능력 평가는 사전 측정 시 일반 자세와 일렬 자세 시 만점일 경우가 많기 때문

에 사후 측정 시 통계적 변화가 없다[30]. 또한 1점부터 4점까지 범주된 지표로 구성되어 있어서 미세한 균형 변화를 측정하기 어렵고 모두 독립 보행이 가능한 대상자의 경우 천장 효과가 나타날 수 있다[31].

이 외에 다른 기능적 검사 도구들 간의 상관관계에 대해서도 살펴보았는데, SPPB와 TUG는 유의한 상관관계를 보였다. 선행 연구를 살펴보면 Thanji의 파킨슨 환자를 대상으로 시행한 선행 연구결과에서도 SPPB와 TUG는 유의한 상관관계를 보였으며[32], 이는 SPPB의 검사 방법 중 앉고 일어서기 및 보행 검사가 TUG의 수행 동작과 일부분 비슷하여 얻어진 결과[33]로 보여지며, TUG는 SPPB뿐만 아니라 Berg balance scale (BBS), Functional reach test (FRT)와도 유의한 상관관계를 보였다[32]. 또한 본 연구결과 TUG는 6MWT와도 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 가졌는데, TUG가 본 연구에서 시행한 모든 신체기능 도구들과 유의한 상관관계를 가져 신체 기능과 가장 밀접한 관계를 가지는 검사 도구로 여겨 진다.

본 연구에서는 S-TMT가 이중 과제 평가 도구로서 효용성을 입증하기 위하여 임상에서 사용하고 있는 여러가지 평가도구와의 상관관계를 알아보하고자 하였다. 그 결과, S-TMT는 신체 기능과 가장 밀접한 관계를 가지는 TUG와 유의한 상관관계가 있었으며, 인지기능 검사 중에서도 환자 예측도가 높은 TMT-B와도 유의한 상관관계가 확인되어 신체 및 인지 기능을 모두 평가하는 선별 도구로 사용할 수 있을 것으로 보여졌다. 여성 노인을 대상으로 실험한 연구에서도 S-TMT는 이중 과제 평가도구로서 신뢰도와 타당성이 있는 평가 도구로 여겨졌으나, 운동 기능과 인지 기능 사이 상호 작용에 대한 정확한 분석이 어렵고 운동 기능과 인지 기능이 공통 신경망을 공유한다는 가설을 확인 할 검사들이 필요하며[24], 선별검사도구는 적절한 민감도와 특이도에 따라 환자를 정확히 구별 할 수 있는 양성 및 음성 예측도가 높아야 한다[34]. 따라서 S-TMT의 이중 과제 평가도구로서의 임상적 효용성에 대해 좀 더 정확한 결과를 얻기 위해서는 본 예비 실험 결과를 바탕으로 많은 환자를 대상으로 하는 연구 및 S-TMT와 다른 이중 과제 평가도구들과도 상관 관계를 살펴 볼 필요가 있

며, 낙상의 경험이 있는 대상자 등 신체기능 및 인지 기능 저하가 동반된 환자군을 대상으로 설정하여 후속 연구를 해 볼 필요가 있다.

V. 결론

본 연구에서는 S-TMT가 이중 과제 평가 도구로서 적합한지에 대하여 알아보하고자 기존에 임상에서 자주 사용되는 신체 및 인지 기능 평가도구들과의 상관관계를 확인하고자 하였다. 연구 결과, S-TMT는 TUG, TMT-B와 유의한 상관관계가 확인되어 신체 및 인지 기능을 모두 평가하는 선별 검사 도구로 사용할 수 있을 가능성이 있을 것으로 보인다. S-TMT의 임상적 효용성을 확인하기 위하여 다른 이중 수행 평가 도구들과의 비교, 고령의 낙상 경험이 있는 신체, 인지기능 저하 환자를 대상으로 하는 후속 연구가 필요할 것으로 사료 된다.

Acknowledgements

본 연구는 KMDF(범부처전주의료기기연구개발사업단)에 선정된 위니즈컴퍼니(주)의 지원으로 진행되었습니다(과제번호: 202013C16).

References

- [1] Lytle ME, Bilt JV, Pandav BR, et al. Exercise level and cognitive decline: The MoVIES project. *Alzheimer Dis Assoc Disord.* 2004;18(2):57-64.
- [2] Seo JS, Koh SH, Lee YH, et al. Relationship between physical activity and cognitive function in the elderly. *JKGS.* 2011;15(2):91.
- [3] Ministry of Health and Welfare. Older people survey in Korea. Sejong: KIHASA. 2020.
- [4] Jung KH, Oh YH, Lee YK, et al. 2017 The Korean elderly survey. Policy Report. Seoul: KIHASA. 2017.
- [5] Jeon MY, Bark, ES, Lee, EG, et al. The effects of a Korean traditional dance movement program in elderly

- women. *JKAN*. 2005;35(7):1268-76.
- [6] Kim SN. Effects of a multifactorial fall prevention program on physical, psychological function and home environmental hazards in community dwelling low-income elderly. *JKGS*. 2012;32(2):377-95.
- [7] Lee O, Nam HS, Kong SA, et al. The relationships between physical activity and Immanent fall risk factors in the elderly. *KJSM*. 2010;28(2):95-102.
- [8] Lee YH, Na DL, Cheong HK, et al. Lifestyle recommendations for dementia prevention: PASCAL. *JKGS*. 2009;13(2):61-8.
- [9] Sin ES. Age-related neurocognitive changes and exercise-induced benefits: A review of cognitive neuroscientific research. *Korean Journal of Cognitive Science*. 2013;24(1):1-23.
- [10] West BJ, Griffin LA. *Biodynamics; Why the wirewalker doesn't Fall*. Wiley-Liss. 2004.
- [11] Choi JS, You JH, Kim HS, et al. Effects of cognitive task on stride rate variability by walking speeds. *Journal of Biomedical Engineering Research*. 2006;27(6):323-31.
- [12] So HY, Kim HY. Measurement of cognitive functions of elderly. *Korean J Rehabil Nurs*. 2004;7(1):7-14.
- [13] Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, HJ, et al. Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst*. 2008;16(3).
- [14] Beltz NM, Gibson AL, Janot JM, et al. Graded exercise testing protocols for the determination of VO₂ max: Historical perspectives, progress, and future considerations. *J Sports Med*. 2016.
- [15] Mossberg KA. Reliability of a timed walk test in persons with acquired brain injury. *Am J Phys Med Rehabil*. 2003;82(5):385-90.
- [16] Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA*. 1968;203(3):201-4.
- [17] Butland RJ, Pang J, Gross ER, et al. Two-, six-, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br Med J*. 1982;284(6329):1607-8.
- [18] Pallecchia GL, Shockley K, Turvey MT. Concurrent cognitive task modulates coordination dynamics. *Cognitive Science*. 2005;29(4):531-57.
- [19] Shumway-Cook A, Wollacott MH. *Motor control: translating research into clinical practice*. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 2007.
- [20] Ojha HA, Kern RW, Lin CH, et al. Age affects the attentional demands of stair ambulation: evidence from a dual-task approach. *Phys Ther*. 2009;89(10):1080-8.
- [21] Muhaidat J, Kerr A, Rafferty D, et al. Measuring foot placement and clearance during stair descent. *Gait & posture*. 2011;33(3):504-6.
- [22] Al-Yahya, E., Dawes, H., Smith, L, et al. Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2011;35(3):715-28.
- [23] Osuka Y, Kim HK, Watanabe Y, et al. A stepping trail making test as an indicator of cognitive impairment in older adults. *J Clin Med*, 2020; 9(9):2835.
- [24] Osuka Y, Kojima N, Sakurai R, et al. Reliability and construct validity of a novel motor-cognitive dual-task test: A stepping trail making test. *Geriatrics & gerontology international*. 2020;20(4):291-6.
- [25] Church S, Rogers E, Rockwood K, et al. A scoping review of the Clinical Frailty Scale. *BMC geriatrics*. 2020;20(1):1-18.
- [26] Podsiadlo D, Richardson S. The timed "up & go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39(2):142-8.
- [27] Crowe SF. The differential contribution of mental tracking, cognitive flexibility, visual search, and motor speed to performance on part A and B of the Trail Making Test. *J Clin Psychol*. 1998;54:585-91.
- [28] Park MS, Chey JY. A normative study of the modified trail making test for elderly Korean people. *Kor J Clin Psychol*. 2003;22(1):247-59.
- [29] Volpato S, Cavalieri M, Guerra G, et al. Performance-based

- functional assessment in older hospitalized patients: Feasibility and clinical correlates. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2008;63(12):1393-8.
- [30] Joung HJ, Lee YH, Kim DM. Effect of creative dance on physical performance, balance and mobility of elderly with physical disability. *Korean Journal of Adapted Physical Activity.* 2019;27(4):131-44.
- [31] Joung HJ, Lee YH. Effect of creative dance on fitness, functional balance, and mobility control in the elderly. *Gerontology.* 2019;65(5):537-46.
- [32] Tanji H, Gruber-Baldini AL, Anderson KE et al. A comparative study of physical performance measures in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2008;23(13):1897-905.
- [33] Park RJ, Son HH, Cho JS, et al. Correlations between SPPB, FRT, and TUG in hospitalized frail people-the timed up and go test, the functional reaching test, and the short physical performance battery-. *JKPT.* 2011;23(2):17-21.
- [34] Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: six-minute walk test, berg balance scale, timed up & go test, and gait speeds. *Phys Ther.* 2002;82(2):128-37.