

# 자동화된 자세 분석 및 가상 재구축 장비를 이용한 이중 과제 능력 평가

최승익<sup>1,2</sup> · 박중현<sup>2,3,4,5</sup> · 김나영<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 의과대학 재활의학교실, 용인세브란스병원 재활의학과, <sup>2</sup>연세대학교 의과대학 융합의학과, <sup>3</sup>연세대학교 의과대학 재활의학교실, 강남세브란스병원 재활의학과, <sup>4</sup>연세대학교 의과대학 희귀난치성 신경근육병 재활연구소, <sup>5</sup>연세대학교 의과대학 의료기기산업학과, <sup>6</sup>용인세브란스병원 디지털 의료산업센터

## Assessing Motor-Cognitive Dual Task Performance Using Posture Analyzing and Virtual Reconstruction Device

Seung Ick Choi<sup>1,2</sup>, Jung Hyun Park, M.D., Ph.D.<sup>2,3,4,5</sup> and Na Young Kim, M.D., Ph.D.<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Yongin Severance Hospital, Yongin 16995, Korea, <sup>2</sup>Department of Integrative Medicine Major in Digital Healthcare, Yonsei University College of Medicine, <sup>3</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, <sup>4</sup>Rehabilitation Institute of Neuromuscular Disease, Yonsei University College of Medicine, <sup>5</sup>Department of Medical Device Engineering and Management, Yonsei University College of Medicine, <sup>6</sup>Center for Digital Health, Yongin Severance Hospital

### Abstract

**Objective:** Assessing motor-cognitive dual-task performance could sensitively detect changes in balance, an essential indicator of physical function in geriatric population. Posture Analysis and Virtual Reconstruction (PAViR) is a new technique to trace body posture and motion in real-time. We investigated the clinical usability of PAViR device to measure motor-cognitive dual-task performance.

**Methods:** We recruited two age groups of healthy individuals without subjective cognitive and motor impairment: young (18 < Age < 40, N = 21) and old (Age ≥ 65, N = 28). The dual-task performance was evaluated by subtraction while single-leg standing using a PAViR device. All patients underwent comprehensive neuropsychological tests, Seoul Neuropsychological Screening Battery-Core (SNSB-C). We conducted group comparison analysis and correlation analysis between the scores on items of SNSB-C and task performance in each group.

**Results:** Old group showed significantly lower performance ( $p < 0.05$ ) in all tasks except amplitude during single task and dual task cost of amplitude, and significantly lower scores on most items of SNSB-C. In young age group, dual-task cost was significantly negatively correlated with the scores of controlled oral word association test and color word stroop test. In old age group, there was significant correlation between the score of color-word stroop test and dual-task performance as well as single task performance ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** Our study showed that the degree of motor-cognitive dual-task performance could be measured by PAViR device, and it was also correlated with the different aspects of cognitive assessments depending on the age group. Further study is needed using various tasks in larger population.

### Key Words

Balance, Posture, Imaging, Dual task, Cogni

접수일 : 2023년 3월 27일

게재 승인일 : 2023년 6월 2일

교신저자 : 김나영

주소 : 경기도 용인시 기흥구 중동 동백

죽전대로 363 용인세브란스병원

재활의학과

Tel : 82 31 5189 8163

Fax : 82 31 5189 8565

e-mail : kny8452@yuhs.ac

## 서론

보행 및 균형 장애는 노인에서 매우 흔하게 나타나는 증상으로, 70세 이상 노인의 35%에서 보행 및 균형 장애가 나타난다고 보고된 바 있다.<sup>1</sup> 보행과 균형 능력은 근골격계의 물리적 상태뿐만 아니라 고유수용체를 포함한 여러 가지 감각기능, 주의 집중력 등이 복잡하게 상호작용하여 유지되는 능력으로,<sup>2</sup> 보행 및 균형 장애는 치매 및 파킨슨병 등 퇴행성 뇌질환뿐만 아니라<sup>3</sup> 골관절염, 척추관 협착증 등의 근골격계 질환과도 밀접하게 관련되어<sup>4,5</sup> 질병의 예후 및 환자의 기능적 상태를 평가하는 지표로 사용되고 있다. 또한 아무런 의학적 질환이 없는 경우에도 노화에 따라 보행 및 균형 장애는 발생할 수 있으며, 이는 낙상과 그로 인한 합병증 증가, 기능적 퇴행으로 인해 개인 및 사회적 비용의 증가를 초래할 수 있다.<sup>1</sup> 따라서 보행 및 균형 장애를 초기에 진단하고 평가하는 것은 노인의학에서 중요한 의의를 갖는다.

최근 연구 결과들에 따르면 신체적 과제를 시행하는 도중에 인지 과제도 시행하게 하는 이중 과제 평가를 수행하면 보행 및 균형 장애를 더욱 민감하게 평가할 수 있는 것으로 보고하고 있다.<sup>6,7</sup> 대화를 하면서 걷거나, 구입할 물건을 떠올리며 상점에 가는 등 일상생활에서 운동-인지 이중 과제를 수행하는 상황은 빈번히 발생하며, 운동-인지 이중 과제를 수행하는 능력이 저하되는 것은 기능적인 움직임이나 활동들을 저하시킬 것으로 추정되어 왔다.<sup>8</sup> 실제로, 보행 중 숫자 거꾸로 세기나 빨셈 등의 간단한 인지 과제를 수행하게 하였을 때 보폭이나 보행 속도 등에서 유의한 감소가 나타난다면 낙상 위험이 높다는 것이 보고된 바 있다.<sup>9</sup> 또한 이중 과제 수행 능력은 여러 가지 정보를 한 번에 처리하는 뇌 예비능을 방증하는 것으로 치매 등 인지 저하를 조기에 예측하는 데에도 도움이 되는 것으로 알려져 있으며,<sup>10</sup> 역으로 신체적-인지적 과제를 동시에 수행하는 훈련을 시행한 경우 보행 및 균형 능력의 호전뿐만 아니라 주의 집중력의 호전이 관찰되는 사례들도 보고되었다.<sup>11,12</sup> 이에 운동-인지 이중 과제 능력을 정확히 평가하는 것은 재활치료 계획 수립에 유용할 것으로 여겨진다.

운동-인지 이중 과제 수행 능력은 다양한 방법으로 측정할 수 있으나 흔히 사용하는 방법으로는 운동 과제만 수행하는 능력을 측정하고, 인지 과제와 함께 운동 과제를 수행하는 능력을 측정하여 단일 과제 수행 능력 대비 이중 과제 수행 능력이 얼마나 감소하였는지 비교하여 이중 과제 비용을 계산하는 방법이 있다.<sup>13</sup> 대체로 운동 과제로 일어서서 걷기 검사

(Timed up and go test), 10 m 보행 검사, 외발서기 검사(one leg standing test) 등을 시행하고 검사 수행 시간을 측정하여, 간단한 빨셈이나 이름 대기 등 인지 과제를 함께 수행할 경우 운동 과제의 수행 시간이 변화하는지 관찰하여 이중 과제 수행 능력을 평가한 연구가 많다.<sup>14</sup> 그러나 균형 능력을 평가하는 데에는 단순히 수행 시간뿐만 아니라 몸체의 흔들림의 정도, 지지 기반의 넓이, 외력에 대한 균형 유지 능력, 감각 정보 활용 능력 등을 함께 고려해야 하는데,<sup>15</sup> 총수행 시간을 측정하는 통상적인 방법으로는 균형 능력을 다면적으로 평가할 수 없다는 단점이 있다.

과학 기술의 발달로 다양한 센서와 어플리케이션이 개발됨에 따라 이를 활용하여 대상자의 자세를 분석하고 균형 능력을 평가하려는 여러 가지 연구들이 진행되고 있다.<sup>16-18</sup> 3차원 RGB-D (Three dimensional Red-Green-Blue-Depth, 이하 3D RGB-D) 카메라 혹은 센서를 활용한 기술은 그중 대표적인 것으로, 깊이 카메라를 이용하여 3차원에서 팔다리와 몸통의 움직임을 추적하고 운동학적 데이터를 기록하는 방식은 이미 신뢰도와 타당도를 인정받은 바 있다.<sup>16</sup> 이러한 기술을 활용한 마이크로소프트사의 Xbox는 컴퓨터 게임기로 개발되었으나 재활 프로그램에도 활발히 사용되고 있다.<sup>19</sup> 그러나 운동-인지 이중 과제 수행 능력 등 환자의 기능을 객관적으로 평가하기 위해 이러한 장비를 활용한 연구는 아직 부족하다.

자세 분석 및 가상 재구축(Posture Analysis and Virtual Reconstruction, PAViR) 시스템은 3D RGB-D 카메라를 사용한 새로운 시스템으로, 카메라로 인식된 정보를 인공지능을 이용하여 실시간으로 분석하여 가상 환경에서 골격 모델을 구성하는 것이다.<sup>20,21</sup> 우리는 앞선 연구에서 본 시스템으로 평가한 어깨, 무릎 등의 관절점의 위치나 이를 바탕으로 추정된 관절 각도가 x선 촬영 결과와 높은 상관성을 보이는 것을 확인하였다.<sup>20,21</sup> 그러나 이것은 대상자를 움직이지 않게 하고 시행한 검사 결과로, 대상자의 동적 움직임에 대한 데이터 확인 및 임상적 활용에 대해서는 아직 연구가 더 필요하다.

본 연구에서는 주관적 보행/균형 및 인지 장애가 없는 젊은 성인 및 65세 이상 고령자를 대상으로, 인지 과제 수행 중 균형 유지 시간이나 몸체의 흔들림 정도를 PAViR장치로 측정하여 운동-인지 이중 과제 수행 능력의 연령 그룹 간 차이를 비교하고, 평가된 운동-인지 이중 과제 수행 능력이 인지 기능 평가 결과와 연관성이 있는지 확인하여 새로운 장비의 활용성을 탐색하고 향후 이중 과제 수행 능력과 신체/인지 기능과의 관계를 규명하기 위한 기초 자료를 수집하고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1) 연구 기간 및 대상

본 연구는 전향적 연구로, 2021년 6월부터 2022년 12월까지 주관적 보행 혹은 균형 장애 및 인지 장애가 없는 만 19세 이상 40세 미만과 만 65세 이상의 성인을 두 그룹으로 모집하여 진행되었다. 연구는 기관 윤리위원회의 승인을 받아 시행되었으며(IRB 번호: 2021-0156-002), 대상자에게 연구 목적과 방법에 대해 충분히 설명한 뒤 동의서를 구득하였다. 연구 참여에 동의한 대상자에게 숙련된 재활의학과 전문의가 기초적인 신체 검진을 시행하였으며, 버그 균형 척도를 통해 균형 능력을 평가하였고, 간이 인지 상태 검사(Mini-Mental Status Examination)를 시행하여 연구 참여에 적합한지 확인하였다.

### 2) 측정 장비 및 계산 방법

연구 대상자는 PAViR장치 앞에서 운동 과제로 외발서기를 수행하였고 1분의 휴식 후 인지 과제와 함께 운동과제를 수행하는 이중 과제를 수행하였다. 수행 시간 및 수행 중 몸체의 흔들림 정도는 PAViR장치에서 추출된 값을 분석하여 계산되었다.

본 연구에서 사용된 PAViR (version 2.20, Moti Physio, MG Solutions, Seoul, Korea) 장치는 디스플레이, 3D RGB-D 카메라(AstraPro®, Orbbec 3D Technology International,

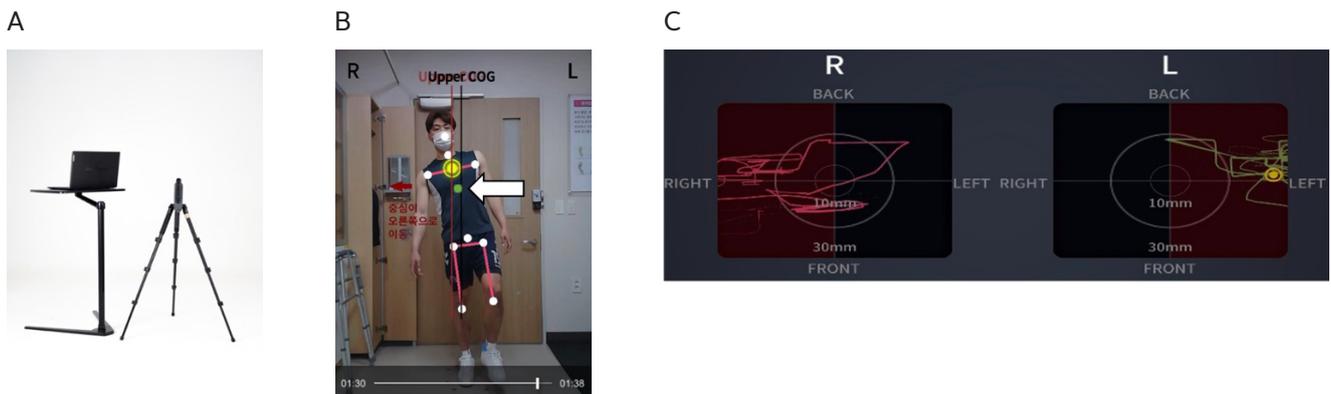
Inc., Troy, MI, USA), 처리 장치로 구성된다(Fig. 1A). 본 장비는 3D RGB-D 카메라로 3만 개의 반사광을 이용하여 background-subtracted extraction method, 서포트 벡터 머신(support vector machine), simple linear iterative clustering을 통해 신체 각 부위를 구분하였으며, 양쪽 외이도의 가운데점, 경추 7번, 양쪽 어깨, 양쪽 장골 능선 각각의 중간 지점 및 천골 종말판(sacral endplate)을 추정하여 해당 좌표값의 평균값으로 상체 중심점을 계산하였다(Fig. 1B).

기기에서 자동으로 측정하는 외발서기의 종료 시점은 양발의 y좌표의 차이가 0이 되는 지점으로 정의하였다. 자동 측정된 시점의 신뢰성 평가를 위해 검사자가 대상자의 발이 땅에 닿는 순간을 스톱워치로 측정할 시간도 기록하여, 각 결과를 Pearson correlation으로 분석하였다.

몸체의 흔들림은 과제 수행 중 상체 중심점의 이동 거리를 계산하여 정량화하였다. 상체 중심점의 공간 좌표(x, y, z)는 대상자가 과제를 수행하는 동안 30 Hz로 추출되어 기록되었으며(Fig. 1C), 이를 유클리디안 거리 공식(Euclidean distance,  $\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$ )에 적용하여 이동 거리를 계산하였다. 상체 중심점의 총이동 거리를 총과제 수행 시간으로 나누어 단위 시간당 몸체의 흔들림, 즉 진폭을 계산하였다(Fig. 1).

### 3) 단일 과제 및 이중 과제 수행 평가

대상자들은 연구에 참여하기 전에 양발로 각각 외발서기를



**Fig. 1.** (A) Posture analysis and virtual reconstruction (PAViR) device (B), identification of upper center of gravity (green dot with white arrow) based on an automatic processing of virtual skeletal model, and (C) an example of tracking upper center of gravity during one leg standing.

1회씩 시행하여 검사를 수행할 수 있는지 확인하였다.

### (1) 단일 과제 수행 능력 평가

검사자는 대상자에게 PAViR장치 앞에 서서 한쪽 무릎을 앞으로 90도로 드는 외발서기 자세를 최대한 길게 유지하도록 지시하고, 100초 이상 유지 가능 시 검사를 중단하였다. 분석에는 오른발로 수행한 결과값이 사용되었다.

### (2) 이중 과제 수행 능력 평가

검사자는 대상자에게 100-999 사이의 숫자를 임의로 설정하고 3씩 뺄셈을 하면서 외발서기를 시행하도록 지시하였다. 대상자가 뺄셈을 틀릴 경우 검사자는 교정하지 않았으며, 대상자가 계산한 값에서 뺄셈을 지속적으로 수행하도록 지시하였다.

### (3) 이중 과제 비용 계산

뺄셈 수행 유무에 따른 외발서기 유지 시간 및 외발서기 동안의 몸체의 흔들림을 바탕으로 각각에 대한 이중 과제 비용을 산출하였으며 이는 다음과 같이 계산되었다.<sup>22,23</sup>

$$\left( \frac{|\text{이중 과제 활동 결과} - \text{단일 과제 활동 결과}|}{\text{단일 과제 활동 결과}} \right) \times 100$$

외발서기 유지 시간의 경우, 이중 과제 수행 시 단일 과제 수행 시보다 수행 시간이 짧아지므로, 계산값이 음의 값이 될수록 이중 과제 비용이 증가하는 것을 의미한다. 이에 반해 외발서기 동안의 몸체의 흔들림은 균형이 저하될수록 진폭이 커지므로, 이중 과제 수행 시 단일 과제 수행 시보다 측정값이 증가하여, 계산값이 양의 값이 될수록 이중 과제 비용이 증가하는 것을 의미한다. 이에 결과 해석에서 혼란을 줄이기 위해 절댓값을 사용하였다.

### (4) 인지기능 평가

모든 대상자들에게 서울신경심리검사-단축형(Seoul neuropsychological screening battery-core, SNSB-C)을 이용하여 인지기능을 평가하였다. SNSB-C는 인지기능 저하를 판별하는 데 높은 민감도와 신뢰도를 보이는 것으로 보고되는 검사로,<sup>24</sup> 숫자 외우기 검사(digit span test), 한국형 보스턴 이름 대기 검사(short form of the Korean Boston naming test, S-K-BNT), 레이 복합도형검사(Rey complex figure

test, RCFT), 노인용 언어기억검사(Seoul verbal learning test-elderly's version, SVLT-E), 숫자 기호 바꿔 쓰기 검사(digit symbol coding), 통제 단어 연상 검사(controlled oral word association test, COWAT), 한국형 노인용 기호 잇기 검사(Korean-trail making test-elderly's version), 색채 단어 간섭 검사 - 60초(Korean-color word Stroop Test-60 Seconds)가 포함되어있다.

### (5) 자료 분석

통계적 분석은 R (version 4.1.3, R Development Core Team)을 사용하였다. 전체 대상자에서 얻어진 결과를 바탕으로, 피어슨 상관분석으로 과제 수행 시간과 진폭에 상관성이 있는지 확인하였다. 젊은 성인군과 노인군 사이의 연령, 성별, 키, 몸무게, 단일 과제 및 이중 과제 수행 결과와 인지기능 평가 결과 차이는 정량적 변수는 만-휘트니 U검정을 사용하여, 정성적 변수는 카이 제곱검정을 사용하여 분석하였다. 서울신경심리검사의 각 세부 항목 점수와 단일 과제 및 이중 과제 수행 결과와 이중 과제 비용과의 연관성을 확인하기 위해, 연령 그룹별로 나누어 각 인지기능 평가 점수와 PAViR장치로 평가한 결과의 피어슨 상관계수를 계산하였다. 통계적 유의 수준은  $p < 0.05$ 로 설정하였다.

## 결과

### 1) 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구는 7년 이상 교육을 받은 만 19세 이상 40세 미만인 젊은 성인 21명(평균 나이  $25 \pm 3.21$ 세, 남자 10명, 여자 11명)과 만 65세 이상의 노인 28명(평균 나이  $72.82 \pm 6.72$ 세, 남자 13명, 여자 15명)으로 총 49명을 모집하여 진행되었다. 대상자 중 탈락 및 제외는 발생하지 않았다. 모든 대상자의 버그 균형 척도는 56점으로 확인되었다. 양 그룹 간 성별 구성에 유의한 차이는 관찰되지 않았으며, 젊은 성인군의 평균 신장은  $171.9 \pm 7.84$  cm로 노인군의  $161.57 \pm 6.53$  cm보다 통계적으로 유의하게 컸고( $p < 0.01$ ), 젊은 성인군의 평균 몸무게 또한  $69.57 \pm 10.53$  kg로 노인군의 평균 몸무게  $63 \pm 11.34$  kg보다 통계적으로 유의하게 컸다( $p < 0.05$ ).

## 2) 단일 과제 및 이중 과제 수행 능력

전체 대상자에게서 측정한 PAViR장치에서 자동으로 추출되는 외발서기 과제 수행 시간과 검사자가 수기로 기록한 시간은 통계적으로 유의하게 높은 상관성을 보였다(Fig. 2,  $r = 1.00$ ,  $p < 0.01$ ). 이에, 이후 분석에서는 수기로 기록한 시간이 아닌 PAViR장치에서 자동으로 추출되는 시간을 사용하였다. 수행 시간과 몸체의 진폭은 단일 과제 수행 시와 이중 과제 수행 시 모두 유의한 음의 상관관계를 보였으나(단일 과제 수행 시  $r = -0.43$ ,  $p < 0.01$ , 이중 과제 수행 시  $r = -0.56$ ,  $p < 0.01$ ), 이중 과제 비용에서는 시간과 진폭 모두 유의한 상관성을 보이지 않았다.

단일 과제 및 이중 과제 수행 능력 및 이중 과제 비용을 연

령 그룹으로 비교한 결과, 수행 시간으로 평가하였을 때는 단일 및 이중 과제 모두에서 노인군의 수행이 통계적으로 유의하게 저하됨을 확인할 수 있었다. 진폭으로 평가하였을 때는 단일 과제 수행 시 그룹 간 차이가 통계적으로 유의하지는 않았으나 노인군에서 상체 중심점이 많이 흔들리는 것을 확인할 수 있었고, 이중 과제 수행 시에는 통계적으로 유의한 그룹 간 차이를 확인할 수 있었다. 그러나 이중 과제 비용에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 1).

## 3) 단일 과제 및 이중 과제 수행 능력과 인지기능의 상관성

서울신경심리검사-단축형의 각 세부 항목별 점수는 S-K-

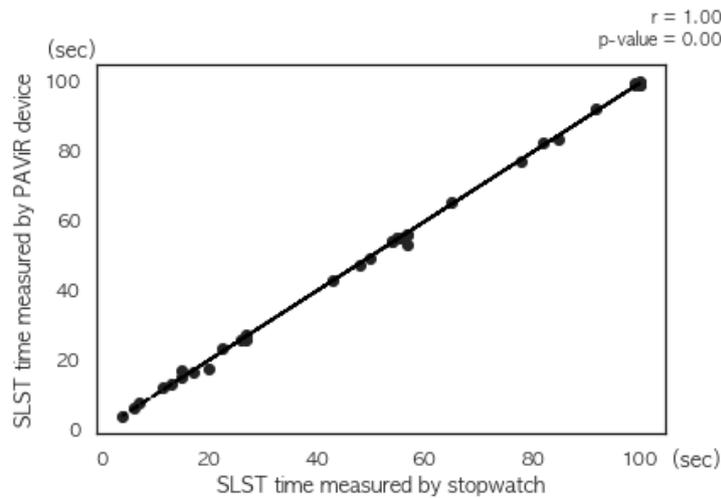


Fig. 2. Correlation between single leg stance time measured by PAViR device and by stopwatch.

Table 1. Physical Characteristics of Subjects

	Old age (N = 28)	Young age (N = 21)	p-value
Single task time (sec)	39.95 ± 29.07	94.74 ± 12.38	< 0.01**
Dual task time (sec)	24.28 ± 25.01	89.91 ± 19.64	< 0.01**
Dual task cost of time (%)	- 35.53 ± 33.95	- 4.7 ± 18.82	< 0.01**
Amplitude during single task (mm/sec)	42.82 ± 23.8	32 ± 12.15	0.06
Amplitude during dual task (mm/sec)	67.29 ± 27.54	43.43 ± 17.81	< 0.01**
Dual task cost of amplitude (%)	71.02 ± 57.96	46.31 ± 58.15	0.15

Values are Mean ± SD, \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ .

**Table 2.** Group Comparison of Individual Tests of SNSB-C

	Old age (N = 28)	Young age (N = 21)	p-value
MMSE	27.04 ± 1.53	29.38 ± 1.32	< 0.01**
DST forward	6.5 ± 1.32	7.71 ± 1.06	< 0.01**
DST backward	4.5 ± 1.07	6.43 ± 1.36	< 0.01**
DST forward+backward	11 ± 1.96	14.14 ± 2.22	< 0.01**
S-K-BNT	12.86 ± 1.58	13.33 ± 1.16	0.25
RCFT copy score	33.04 ± 2.25	34.95 ± 1.16	< 0.01**
RCFT copy time	139.46 ± 58.48	104.81 ± 81.6	0.09
SVLT-E immediate recalls-1	4.5 ± 1.17	6.14 ± 1.28	< 0.01**
SVLT-E immediate recalls-2	7.07 ± 1.46	9.1 ± 1.48	< 0.01**
SVLT-E immediate recalls-3	8 ± 1.79	9.57 ± 1.66	< 0.01**
SVLT-E immediate recalls total score	19.57 ± 3.5	24.81 ± 3.84	< 0.01**
SVLT-E delayed recalls	6.68 ± 2.07	8.38 ± 1.63	< 0.01**
SVLT-E recognition score	21.39 ± 1.91	22.81 ± 1.78	< 0.05*
DSC correct	60.82 ± 18.63	108.95 ± 19.15	< 0.01**
COWAT animal	17.46 ± 4.75	20.19 ± 4.57	< 0.05*
COWAT	9.68 ± 4.15	17.29 ± 4.85	< 0.01**
K-TMT-E part A time	19.14 ± 7.86	7.57 ± 3.04	< 0.01**
K-TMT-E part B time	31.93 ± 10.66	11.9 ± 4.91	< 0.01**
K-CWST-60s WR correct	101.61 ± 14.22	110.52 ± 4.12	< 0.01**
K-CWST-60s CR correct	50.39 ± 11.65	79.29 ± 15.2	< 0.01**
SNSB-C total score	57.67 ± 7.92	70.06 ± 9.31	< 0.01**

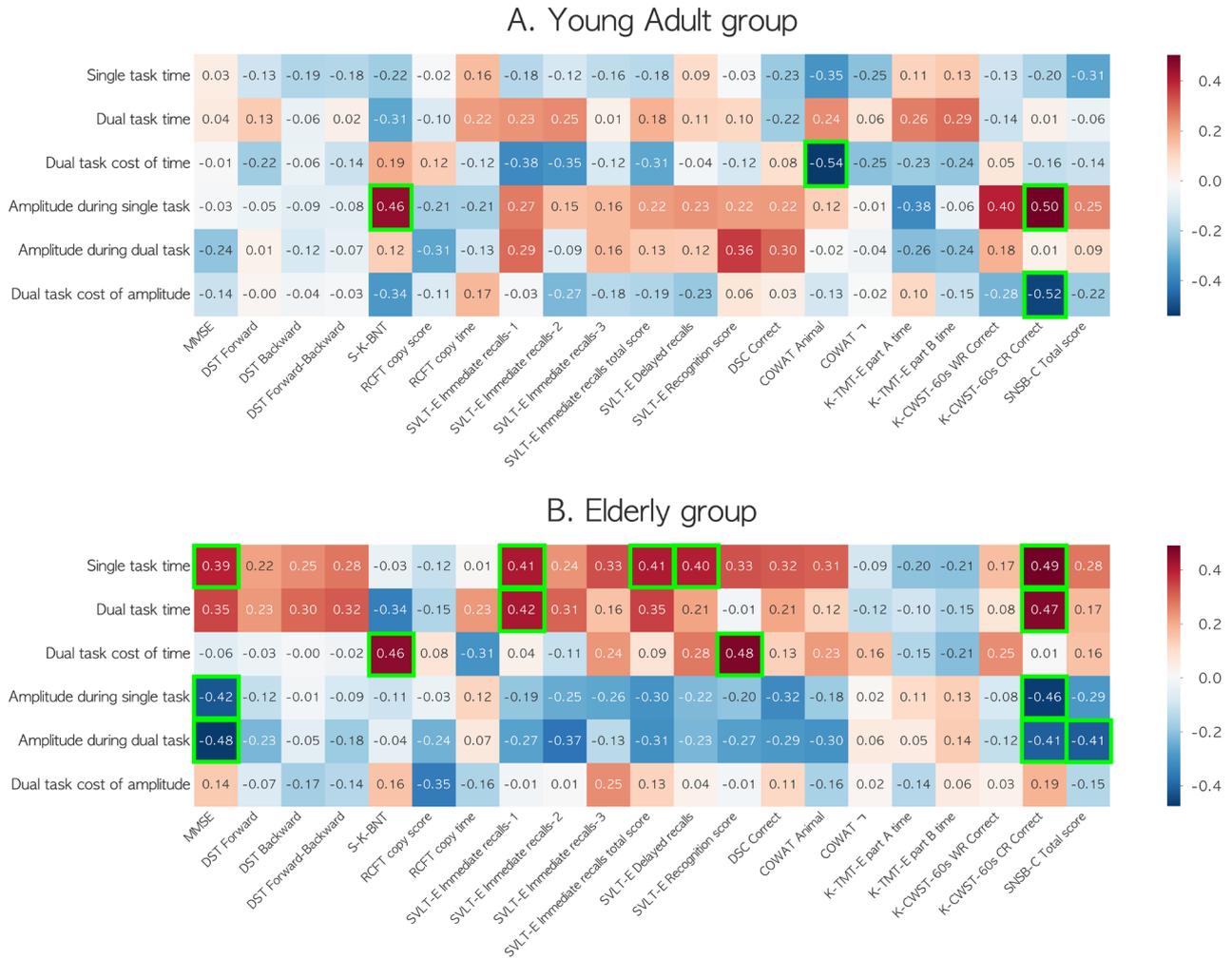
Values are Mean ± SD, MMSE: Mini-Mental State Examination, DST: Digit Span Test, S-K-BNT: Short Forms for the Korean Boston Naming Test, RCFT: Rey Complex Figure Test, SVLT-E: Seoul Verbal Learning Test-Elderly Version, DSC: Digit Symbol Coding Test, COWAT: Controlled Oral Word Association Test, K-CWST-60s: Korean-Color Word Stroop Test-60s Version, SNSB-C: Seoul Neuropsychological Battery-Core, \*: p < 0.05, \*\*: p < 0.01.

BNT, RCFT의 copy time을 제외한 모든 항목에서 연령 그룹 간 유의한 차이가 있었으며, 서울신경심리검사-단축형의 총점 역시 연령 그룹 간 유의한 차이가 있었다(Table 2, p < 0.05).

젊은 성인군과 노인군 각각에서 서울신경심리검사-단축형

의 각 세부 항목 점수와 단일 과제 및 이중 과제 수행 결과, 이중 과제 비용과의 상관성을 분석하였으며, 젊은 성인군과 노인군에서 상관성이 나타나는 항목과 그 정도가 다름을 확인하였다(Fig. 3).

젊은 성인군에서는 시간으로 평가한 이중 과제 비용이 큰 대



**Fig. 3.** Heatmap of correlation analysis between single- or dual- task performance and individual scores of SNSB-C in the young adult group (A) and the elderly group (B). The color scale represents Pearson correlation r. Values with statistical significance ( $p < 0.05$ ) outlined in light green square.

MMSE: Mini-Mental State Examination, DST: Digit Span Test, S-K-BNT: Short Forms for the Korean Boston Naming Test, RCFT: Rey Complex Figure Test, SVLT-E: Seoul Verbal Learning Test-Elderly Version, DSC: Digit Symbol Coding Test, COWAT: Controlled Oral Word Association Test, K-CWST-60s: Korean-Color Word Stroop Test – 60s Version, SNSB-C: Seoul Neuropsychological Battery-Core.

상자일수록 COWAT 동물 이름 대기 점수가 낮았으며, 진폭으로 평가한 이중 과제 비용이 클수록 색채 단어 간섭 검사에서 정답률이 낮았다(Fig. 3A,  $p < 0.05$ ). 노인군에서는 이중 과제 수행 능력뿐만 아니라 단일 과제 수행 능력도 서울신경심리검사의 일부 항목들과 유의한 상관성을 보였으며, 수행 능력이 저하될수록 인지평가 항목들의 점수도 낮게 나타나는 것이 확인되었다(Fig. 3B,  $p < 0.05$ ). 이중 과제 비용이 증가할수록 한국형

보스턴 이름 대기 검사 및 노인용 언어기억검사의 점수도 높아지는 가설과 상반되는 통계적 유의성이 관찰되었으나, 그룹 내에서 동떨어진 수행 능력을 보이는 두 명의 대상자가 관찰되어 이 두 명을 제외하고 분석 시 통계적인 유의성이 관찰되지 않았다.

## 고찰

본 연구는 PAViR장치를 사용하여 대상자의 균형 능력을 평가할 수 있는지 테스트하여 그 결과가 연령 그룹 간에 차이가 있음을 확인하였다. 또한 인지기능을 평가하는 일부 항목들과 PAViR장치를 사용하여 평가한 이중 과제 수행 능력과 통계적으로 유의한 상관성을 보이며, 상관성을 보이는 항목이 연령 그룹에 따라 다른 양상을 보이는 것도 확인하였다.

본 연구에서는 균형 능력을 평가할 수 있는 방법 중 비교적 간단하고 좁은 공간에서 시행할 수 있는 외발서기를 운동 과제로 평가하였고, PAViR장치에서 자동으로 추출되는 외발서기 과제 수행 시간이 수기로 측정된 수행 시간과 높은 양의 상관성을 보이는 것을 확인하여, 검사자 없이 간단한 장치와 검사를 이용하여 대상자의 균형 능력을 평가할 수 있음을 확인하였다. 또한 과제 수행 시간을 측정하여 대상자의 균형 능력을 평가하는 기존 연구들과 달리,<sup>25,26</sup> 3차원 공간에서 몸체의 흔들림을 정량화하여 계산하였다. 모든 대상자가 버그 균형 척도에서는 감점 요인이 없었으나 PAViR장치를 이용한 평가 시 몇몇 과제에서 연령 그룹 간 차이가 현저하게 나타나는 점에 비추어 볼 때, 기존의 방법으로는 평가하기 어려운 신체적인 능력 변화를 PAViR장치를 이용하여 정량화할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 노인 그룹은 젊은 성인 그룹 대비 대부분의 인지기능 평가 항목에서 유의하게 낮은 점수를 보였으나 연령대별로 다른 기준을 적용하는 이전의 연구 결과들과 상통하는 것으로 보인다.<sup>27-29</sup> 그러나 S-K-BNT, RCFT copy time 결과에서 연령 그룹 간 차이가 관찰되지 않았는데, S-K-BNT의 경우 일반적으로 언어 학습검사 연구들은 연령이 증가하더라도 단서가 주어질 경우에는 수행이 크게 감소되지 않음을 보고하고 있는 다른 연구들과<sup>30,31</sup> 연결된다고 볼 수 있다. RCFT copy time 또한 연령에 따라 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않음이 보고되고 있어<sup>32</sup> 기존의 보고된 결과들과 일치하는 것으로 여겨진다.

운동-인지 이중 과제 수행 능력과 관련하여 다양한 연구들이 진행된 바 있으며, 작업의 특성과 복잡성에 따라 이중 과제 수행 비용이 다르게 나타나며,<sup>33</sup> 작업에 따라서는 연령의 따른 수행 능력의 차이가 나타나지 않은 경우도 보고되고 있다.<sup>34</sup> 본 연구에서 사용된 이중 과제는 연령 그룹에 따른 수행 능력의 차이가 유의하게 나타났을 뿐만 아니라, 연령 그룹에 따라 각기 다른 인지기능 평가 결과와 연관성을 보이는 것

로 나타났다. 노인군에서는 젊은 성인군보다 다양한 영역에서 연관성이 관찰되었으며, 통계적으로 유의하지 않은 결과값이더라도 전반적으로 젊은 성인군보다는 연관성이 높은 경향성을 보였다. 또한 단일 과제 수행 능력도 일부 인지기능 평가 결과와 통계적인 유의성이 관찰되었으나, 예상과는 달리 이중 과제 비용은 오히려 통계적인 유의성이 관찰된 항목이 없었다. 노화에 따른 이중 과제 수행 능력의 차이를 설명 및 예측하기 위한 여러 가지 모델들이 제시되고 있으나 아직 결과를 완전히 설명하는 모델은 없는바<sup>35</sup> 인지기능의 각 세부 영역별 능력과 균형 능력의 세부적 특성의 관련성에 대한 추가적인 연구가 필요하겠다. 또한 이중 과제 수행 능력의 저하는 노화로 인한 신체 능력 및 인지기능의 저하로 인한 것일 수도 있으나 개개인의 신체적, 인지적 예비능의 차이 혹은 이와 관련된 질병(e.g., 파킨슨병 혹은 치매 등의 퇴행성 뇌질환)으로의 이환 가능성과 관련이 있다는 근거도 제시되고 있다.<sup>36,37</sup> 본 연구는 건강한 성인을 대상으로 진행한 단면 연구로서 향후 장기 추적 관찰 혹은 동일 연령대 질병군과의 비교를 바탕으로 하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 표본 크기가 작아 연령대를 다양하게 분석하지 못했으며 대상자의 교육 집단을 분류하지 않았다는 한계점이 있다. 참여 대상자를 7년 이상 공교육을 받은 성인으로 제한하였지만 대체적으로 한국 노인의 교육 연수는 편차가 크다는 점을 고려할 때<sup>38</sup> 교육 정도가 인지 평가 결과 및 이중 과제 수행 능력에 영향을 끼쳤을 가능성을 배제할 수 없을 것으로 생각된다. 또한 간이 인지상태검사상 연령대별 정상 수준으로 평가된 건강한 성인을 대상으로 진행하였음에도 일부 대상자들이 서울신경심리검사-단축형에서 수행도가 낮은 것이 관찰되었다. 이것이 이중 과제 평가 결과 및 장기적 추적 결과에 미치는 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 한 가지 운동 과제 및 인지 과제를 시행하였기에 신체적 및 인지적 기능 평가가 제한적이었고, 과제를 반복하면서 발생한 학습효과를 완전히 배제할 수 없었다. 외발서기는 우세측과 비우세측의 수행도 차이가 통계적으로 유의하지 않다고 보고되고 있어<sup>39,40</sup> 본 연구에서는 오른발로 시행한 결과만을 분석하였으나 이중 과제 수행 시 우세측과 비우세측의 차이를 확인하지 못한바 우세측 여부에 따른 수행 결과 및 그 의미에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 추후 더 많은 환자를 대상으로 중증도 및 교육 정도를 구분하여 다양한 운동 과제와 인지 과제를 시행하는 연구가 필요하겠다. 또한 측정된 결과가 낙상 예측 등 임상적으로 유용하게 활

용될 수 있는지 검증이 필요하겠다.

## 결론

본 연구는 자동화된 자세 분석 및 재구축 장비를 사용하여 대상자의 균형 능력을 평가하고, 그 결과 연령 그룹 간에 차이가 있으며 인지기능의 일부 항목과 상관성이 있음을 확인하였다. 추후 다양한 과제를 이용한 대규모 연구를 시행하여 임상적 활용성에 대한 확인이 필요하겠다.

## 감사의 글

본 연구는 대한노인재활의학회 연구비 지원으로 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Alexander NB. Differential diagnosis of gait disorders in older adults. *Clin Geriatr Med* 1996;12:689-703
- Salzman B. Gait and balance disorders in older adults. *Am Fam Physician* 2010;82:61-68
- Bennett DA, Beckett LA, Murray AM, Shannon KM, Goetz CG, Pilgrim DM, et al. Prevalence of parkinsonian signs and associated mortality in a community population of older people. *N Engl J Med* 1996;334:71-76
- Lamoth CJ, Stins JF, Pont M, Kerckhoff F, Beek PJ. Effects of attention on the control of locomotion in individuals with chronic low back pain. *J Neuroeng Rehabil* 2008;5:1-8
- Lange AK, Vanwanseele B, Fiatarone Singh MA. Strength training for treatment of osteoarthritis of the knee: a systematic review. *Arthritis Rheum* 2008;59:1488-1494
- Patel P, Bhatt T. Task matters: influence of different cognitive tasks on cognitive-motor interference during dual-task walking in chronic stroke survivors. *Top Stroke Rehabil* 2014;21:347-357
- Li KZ, Bherer L, Mirelman A, Maidan I, Hausdorff JM. Cognitive involvement in balance, gait and dual-tasking in aging: a focused review from a neuroscience of aging perspective. *Front Neurol* 2018;9:913
- Plummer P, Eskes G, Wallace S, Giuffrida C, Fraas M, Campbell G, et al. Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research. *Arch Phys Med Rehabil* 2013;94:2565-2574. e2566
- Muir-Hunter S, Wittwer J. Dual-task testing to predict falls in community-dwelling older adults: a systematic review. *Physiotherapy* 2016;102:29-40
- Montero-Odasso MM, Sarquis-Adamson Y, Speechley M, Borrie MJ, Hachinski VC, Wells J, et al. Association of dual-task gait with incident dementia in mild cognitive impairment: results from the gait and brain study. *JAMA neurol* 2017;74:857-865
- Silsupadol P, Shumway-Cook A, Lugade V, van Donkelaar P, Chou L-S, Mayr U, et al. Effects of single-task versus dual-task training on balance performance in older adults: a double-blind, randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2009;90:381-387
- Kim D, Ko J, Woo Y. Effects of dual task training with visual restriction and an unstable base on the balance and attention of stroke patients. *J Phys Ther Sci* 2013;25:1579-1582
- McIsaac TL, Lamberg EM, Muratori LM. Building a framework for a dual task taxonomy. *BioMed Res Int* 2015;2015
- Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychol bull* 1994;116:220-224
- Wolfson L. Gait and balance dysfunction: a model of the interaction of age and disease. *Neuroscientist* 2001;7:178-183
- Clark RA, Pua YH, Oliveira CC, Bower KJ, Thilarajah S, McGaw R, et al. Reliability and concurrent validity of the Microsoft Xbox One Kinect for assessment of standing balance and postural control. *Gait Posture* 2015;42:210-213
- Dubois A, Mouthon A, Sivagnanaselvam RS, Bresciani J-P. Fast and automatic assessment of fall risk by coupling machine learning algorithms with a depth camera to monitor simple balance tasks. *J Neuroeng Rehabil* 2019;16:1-10
- Sun R, Sosnoff JJ. Novel sensing technology in fall risk assessment in older adults: a systematic review. *BMC Geriatr* 2018;18:1-10

19. Xu Y, Tong M, Ming WK, Lin Y, Mai W, Huang W, et al. A depth camera-based, task-specific virtual reality rehabilitation game for patients with stroke: Pilot usability study. *JMIR Serious Games* 2021;9:e20916
20. Jang CW, Park J, Cho HE, Park JH. Appraisal of the new posture analyzing and virtual reconstruction device (PAViR) for assessing sagittal posture parameters: A prospective observational study. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:11109
21. Lee HJ, Cho HE, Kim MS, Chung SY, Park JH. Validity and reliability of a non-radiographic postural analysis device based on an RGB-depth camera comparing EOS 3D imaging: A prospective observational study. *Healthcare* 2023;11:68622
22. Heinzel S, Lorenz RC, Pelz P, Heinz A, Walter H, Kathmann N, et al. Neural correlates of training and transfer effects in working memory in older adults. *Neuroimage* 2016;134:236-249
23. Plotnik M, Giladi N, Dagan Y, Hausdorff JM. Postural instability and fall risk in Parkinson's disease: impaired dual tasking, pacing, and bilateral coordination of gait during the "ON" medication state. *Exp Brain Res* 2011;210:529-538
24. Lee AY, Lee JY, Oh ES, Yoon SJ, Yoon BR, Yu SD. Clinical utility of seoul neuropsychological screening battery-core for dementia management project in the community. *J Korean Neurol Assoc* 2019;37:277-283
25. Shin SS, An DH. The effect of motor dual-task balance training on balance and gait of elderly women. *J Phys Ther Sci* 2014;26:359-361
26. Yang L, Liao L, Lam F, He C, Pang MYC. Psychometric properties of dual-task balance assessments for older adults: a systematic review. *Maturitas* 2015;80:359-369
27. Choi HJ, Lee DY, Seo EH, Jo MK, Sohn BK, Choe YM, et al. A normative study of the digit span in an educationally diverse elderly population. *Psychiatry Investig* 2014;11:39
28. Crawford JR, Bryan J, Luszcz MA, Obonsawin MC, Stewart L. The executive decline hypothesis of cognitive aging: Do executive deficits qualify as differential deficits and do they mediate age-related memory decline? *Aging, Neuropsychology, and Cognition* 2000;7:9-31
29. Boone KB, Lesser IM, Hill-Gutierrez E, Berman NG, D'elia LF. Rey-Osterrieth complex figure performance in healthy, older adults: Relationship to age, education, sex, and IQ. *Clin Neuropsychol* 1993;7:22-28
30. Kim JY, Lee JE, Kim MJ, Kim HY. Development and standardization of the elderly verbal learning test. *Korean J Psychol* 2006;25:141-173
31. LaBarge E, Edwards D, Knesevich JW. Performance of normal elderly on the Boston Naming Test. *Brain Lang* 1986;27:380-384
32. Park JS, Kang YW, Jin JH, Na DR. Comparison of visuo-constructional ability between dementia of the Alzheimer's type and vascular dementia: Based on the responses of the Rey Complex Figure Test. *Korean J Clin Psychol* 2005;24:511-525
33. Al-Yahya E, Dawes H, Smith L, Dennis A, Howells K, Cockburn J. Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 2011;35:715-728
34. Baddeley AD, Baddeley HA, Bucks R, Wilcock G. Attentional control in Alzheimer's disease. *Brain* 2001;124:1492-1508
35. Bayot M, Dujardin K, Tard C, Defebvre L, Bonnet CT, Allart E, et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiol Clin* 2018;48:361-375
36. Raffegau TE, Krehbiel LM, Kang N, Thijs FJ, Altmann LJ, Cauraugh JH, et al. A meta-analysis: Parkinson's disease and dual-task walking. *Parkinsonism & Relat Disord* 2019;62:28-35
37. Muir SW, Speechley M, Wells J, Borrie M, Gopaul K, Montero-Odasso M. Gait assessment in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: the effect of dual-task challenges across the cognitive spectrum. *Gait & Posture* 2012;35:96-100
38. Kim HK, Kim YS, Kim TY. Effects of age, education and gender on multiple cognitive measures of Korean older

adults. Korean J Clin Psychol 2011;30:681-701

39. Gstöttner M, Neher A, Scholtz A, Millonig M, Lembert S, Raschner C. Balance ability and muscle response of the preferred and nonpreferred leg in soccer players. Motor

Control 2009;13:218-231

40. Alonso AC, Brech GC, Bourquin AM, Greve JMDA. The influence of lower-limb dominance on postural balance. Sao Paulo Med J 2011;129:410-413
-