

## 동시적 이중과제 훈련이 노인의 실행기능에 미치는 효과: 체계적 고찰 및 메타분석

전유진\*, 박진혁\*\*

\*순천향대학교 대학원 ICT 융합학과 석사과정 학생

\*\*순천향대학교 의료과학대학 작업치료학과 교수

### 국문초록

**목적** : 본 연구는 노인을 대상으로 한 동시적 이중과제 훈련을 적용하였을 때 실행기능의 효과를 알아본 연구를 분석하는 것을 목적으로 한다.

**연구방법** : PubMed, EMBASE, CoChrane, Web of Science, RISS를 이용하여 지난 10년간 출판된 논문을 검색하였고, 선정 및 배제 기준을 통해 최종 7편의 논문을 선정하였다. 선정 논문에 대한 PEDro 질적평가와 메타분석을 시행하였다.

**결과** : 선정된 7편의 논문은 모두 무작위 대조군 설계로, PEDro Scale 7점 이상의 높은 편에 속하였다. 이중과제 훈련의 실행기능 효과를 보기 위한 평가도구로 4편의 문헌에서 선로잇기검사(Trail Making Test)를 사용하였고, 2편에서 색선로잇기검사(Color Trail Test)를 사용하였으며, 3편에서 스트룹검사(Stroop test)를 사용하였다. 메타분석을 실시한 결과 전체적인 실행기능의 향상은 0.38로 작은효과크기를 보였으며, 선로잇기검사와 색선로잇기검사는 0.37, 스트룹검사는 0.34로 작은효과크기를 보였다. 전체적인 실행기능 효과와 선로잇기검사, 색선로잇기검사의 효과크기만 통계학적으로 유의하였다 ( $p < 0.05$ ).

**결론** : 본 연구를 통해 이중과제 훈련이 노인의 실행기능 향상에 효과적임을 확인하였지만, 이중과제 훈련의 효과를 높이기 위해서는 훈련의 난이도 설정이 중요하며, 실행기능을 평가하는 다양한 평가도구와 실제 이중과제 조건에서의 수행도를 평가하는 평가도 동시에 이루어져야 함을 알 수 있었다. 이는 향후, 노인들의 실행기능 향상 훈련을 하는데 적절한 중재방법으로 사용될 수 있으며, 치매 발현을 늦추는데 도움이 될 것이라 사료된다.

**주제어** : 노인, 메타분석, 실행기능, 이중과제 훈련

## I. 서 론

대부분의 일상생활은 두 개 이상의 다양한 과제의 복합으로 이루어져 있다(Mercier, Audet, Hébert, Rochette, & Dubois, 2001). 실제로 걸으면서 대화를 하거나 운전하면서 다른 곳에도 주의를 기울이는 등의 복잡한 활동들을 일상생활 속에서 수행한다. 이처럼 일상생활을 영위하기 위해서는 균형을 유지하거나 이동을 하면서 또 다른 인지적인 활동을 동시에 수행할 수 있는 능력이 필요하다. 이렇게 두 가지 이상의 서로 다른 과제를 동시에 수행하는 것을 이중과제(Dual-task)라고 한다(Pellecchia, 2005).

이러한 이중과제를 효과적으로 수행하기 위해서는 두 가지 이상의 활동을 동시에 집중을 해야하고(Nishiguchi et al., 2015), 서로 다른 과제의 간섭효과를 억제하기 위한 능력인 실행기능이 필요하다. 하지만 노화로 인해 인지능력의 감퇴를 보이는 노인들은 실행기능이 현저히 저하되어 이중과제를 수행하는데 어려움이 있다(Cockburn, 1998; Priest, Salamon, & Hollman, 2008; Wadley, Okonkwo, Crowe, & Ross-Meadows, 2008).

실행기능은 뇌의 전전두엽에서 주로 담당하는 기능으로, 목표지향적인 복잡한 활동을 성공적으로 수행하기 위해 계획하고 감독하여 실행하는 능력이다(Funahashi, 2001). 하지만 노화로 인해 인지기능이 저하된 노인에게 실행기능의 저하는 식사하기와 같은 일상생활에 부정적인 영향을 미쳐 독립성을 저하시키기도 한다(Cornelis, Gorus, Van Schelvergem, & De Vriendt, 2019). 그리고 실행기능 저하는 요리하기, 쇼핑하기, 재정 관리 등과 같은 수단적 일상생활과의 독립성과도 정적으로 상관성이 높다(Cahn-Weiner, Boyle, & Malloy, 2002). 한편, 실행기능의 저하는 사회적으로 문제시되는 치매의 발현 전에 두드러지게 나타나는 현상이기도 하다(Amieva et al., 2005; Grober et al., 2008). 따라서 실행기능 향상은 임상에서 재활치료의 목표 중 하나로 인식되고 있고 이를 위해 다양한 중재

방법들이 시행되고 있으며 이를 평가하기 위한 다양한 평가도구를 사용하고 있다(Poulin, Korner-Bitensky, Dawson, & Bherer, 2012).

고찰연구를 통해 조사한 결과 실행기능을 평가하기 위해 선행연구들에서는 선로잇기검사나 스트룹검사, 플랭커검사, 앤백검사, 언어 유창성 검사, 숫자따라하기 검사 등 다양한 도구를 사용하였다(Zhu, Yin, Lang, He, & Li, 2016). 하지만, 실행기능은 크게 억제기능, 인지적 유연성과 작업기억 3개의 항목으로 구분할 수 있기 때문에 실행기능 평가도구도 이에 맞춰 분류하여 실행기능의 효과를 볼 필요가 있다(Eggenberger, Wolf, Schumann, & de Bruin, 2016).

실행기능을 향상시키기 위해 전통적으로는 단일 인지과제 훈련이 시행되었지만 운동과제와 인지과제를 동시에 수행하여 두 과제 사이의 간섭 상황을 유발하는 이중과제 훈련이 최근 관심을 받고 있다(Bamidis et al., 2014; Law, Barnett, Yau, & Gray, 2014; Smith et al., 2013). 뇌영상 연구에서는 이중과제 훈련 시 주로 활성화되는 부위가 전전두엽 영역임을 밝혀 이중과제 훈련이 실행기능을 향상시킬 수 있음을 입증하였다(Doi et al., 2013). 또한 선로잇기검사와 같은 전통적인 실행기능 평가도구를 사용한 연구에서도 이중과제 훈련 후 실행기능의 향상을 보고하였다. Theill, Schumacher, Adelsberger, Martin과 Jäncke(2013)은 이중과제 훈련 후 전반적인 인지기능과 더불어 실행기능의 향상을 확인하였고, Rahe 등(2015)의 연구와 Schättin, Arner, Gennaro과 de Bruin(2016)의 연구에서는 운동과제와 인지과제를 동시에 수행하는 이중과제 훈련을 수행하였을 때 단일과제 훈련보다 실행기능향상에 더 큰 효과를 보였다는 것을 확인하였다.

최근 이중과제 훈련에 대한 연구가 많이 진행되고 있지만 이전의 체계적 고찰 및 메타분석 연구를 살펴보면 He, Yang, Zhou, Yao과 Pang(2018)은 이중과제 훈련의 효과로 균형감, 걷는 속도, 발걸음, 이동능력 등 운동기능에 초점을 맞추어 효과를 확인한 연구들의 수가 많고 인지기능의 효과를 파악하기 위한 평가도구를

사용한 논문이 부족하여 실행기능의 향상에 대한 효과를 파악하는데 제한이 있었다. 또한 Lauenroth, Ioannidis과 Teichmann(2016)의 연구와 Zhu 등(2016)의 연구에서는 대상자 군이 건강한 성인을 포함하여 다양한 대상으로 구성되어 있었고 이중과제 훈련의 방법, 인지기능 평가도구, 실험 디자인, 훈련기간 등이 다양하게 적용되고 있어 실행기능 향상을 위한 이중과제 훈련의 효과를 명확하게 파악하기 어렵다는 제한이 있었다. 게다가 선행연구에서는 인지과제와 운동과제를 동시에 시행하지 않고 순차적으로 시행하여 이중과제 훈련의 효과를 확인하였는데(Legault et al., 2011; Liao, Chen, Lin, Chen, & Hsu, 2019; Linde & Alfermann, 2014), Fissler, Küster, Schlee과 Kolassa (2013)는 인지과제와 운동과제를 동시에 수행하는 훈련이 실행기능 향상에 있어 더 효과적이라고 제안하였고 실제로 Gheysen 등(2018)은 순차적인 이중과제 훈련에 비해 동시적인 이중과제 훈련이 더 효과적임을 보고하였다. 따라서 본 연구는 운동과제와 인지과제가 동시에 시행된 것을 이중과제로 간주하고 이중과제 훈련이 노인의 실행기능 향상에 효과적인지 파악하고자 한다. 또한 이중과제 효과를 실행기능에만 초점을 맞추어 그 효과를 파악하고 훈련에 대한 근거를 제시하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 설계

본 연구는 노인들에게 이중과제 훈련을 하였을 때 실행기능의 효과를 알아본 연구들을 대상으로 PRISMA guideline을 따라 연구들을 체계적으로 고찰하고 메타 분석을 이용하여 결과들을 분석한 문헌고찰이다.

### 2. 문헌 검색 전략

#### 1) 문헌 검색 데이터베이스 및 검색어

2010년 1월부터 2020년 6월까지 10년간 출판된 노인의 이중과제 훈련에 관한 연구를 대상으로 하였다. 자료 수집은 온라인 데이터에 등록된 논문을 포함하여 실시하였다. 논문 검색은 PubMed, EMBASE, CoChrane, Web of Science, RISS를 이용하여 논문검색을 진행하였고, 주제와 선정기준에 부합한 논문이 있다면 선행고찰논문이나 메타분석연구에 포함된 논문들도 일부 포함하여 진행하였다. 검색에 사용된 주제는 “dual task”, “dual task training”, “combined physical and cognitive training”, “executive function”, “cognitive function”, “Prefrontal activation”, “older”, “elderly”로 사용하였고 RISS에서 검색을 할 때에는 주제를 한국어로 변경하여 사용하였다.

#### 2) 선정기준 및 배제 기준

본 연구 대상 논문의 선정 기준은 다음과 같다.

- (1) 65세 이상의 노인을 대상으로 한 무작위 대조군 연구
- (2) 이중과제 훈련을 독립변수로 설정하고 종속변수로 실행기능을 선정한 연구
- (3) 독립된 두 과제(인지, 운동)를 동시에 수행한 이중과제 연구
- (4) 한글 및 영문으로 작성되었으며, 전문보기가 가능한 연구

본 연구 대상의 배제 기준은 다음과 같다.

- (1) 프로토콜 개발 논문, 신뢰도 타당도 논문, 단일 집단 사전사후설계 논문, 고찰 및 메타분석 논문
- (2) 신경학적인 질환이나 질병이 있는 노인을 대상으로 진행한 연구
- (3) 효과크기 계산을 위한 데이터가 부족한 연구

### 3. 문헌선정과정

문헌 수집과 선별 과정은 데이터베이스 검색 후 제목과 초록을 통해 먼저 검토가 진행되었고, 본문검토에서 두 명의 저자가 선정 기준과 배제 기준을 고려하여 최종 문헌을 선정하였다. 본 선별과정은 PRISMA(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 흐름도를 활용하여 순서대로 실시하였다(Liberati et al., 2009).

### 4. 연구 질적 수준

최종 선정된 논문의 질적 평가는 Physiotherapy Evidence Database(PEDro) Scale을 적용하여 시행하였다. PEDro Scale은 10개의 항목으로 연구의 내부 타당도를 분석할 수 있는 도구이며, '예', '아니오'로 점수를 적용하여 1등급부터 10등급으로 분류된다(Moseley, Merbert, Sherrington, & Maher, 2002). 대상 논문의 질 평가를 위해 두 명의 저자가 독립적으로 평가를 실시하였고, 의견이 불일치할 경우에는 토의를 통해 확정하였다.

### 5. 근거 제시 방법

본 연구에서는 각 연구들의 특성을 P.I.C.O. 형식에 맞춰 분석하고 제시하였다. P(Participation)는 연구대상, I(Intervention)는 중재방법, C(Comparison)는 중재방법, O(Outcomes)는 연구결과를 의미하며 각 연구의 근거들을 체계적으로 제시하였다.

### 6. 분석 방법

선정된 논문은 Comprehensive Meta-Analysis 2.0 (Biostat, Englewood, NJ, USA) 프로그램을 사용하여 통계적 이질성과 효과크기를 산출하고 민감도 및 출판편의 검정을 실시하였다.

#### 1) 통계적 이질성 검정

통계적 이질성이란 결합하고자 하는 개별 연구의 임상적 요인과 다양한 방법론적인 것으로 인해 연구를 결합하여 효과를 추정하는 분석에 오차가 발생하는데 이런 효과크기 간 차이를 의미한다(Lee & Shon, 2016). 따라서 여러 요인들이 통계적으로 다른지 확인하기 위해 통계적 이질성 검정을 실시하였다. 통계적 이질성 검정은 카이제곱 검정을 통해 Cochran's Q 통계량에 대한 유의성 검정을 시행하였다.

#### 2) 효과크기의 산출 및 해석

효과크기는 분석하고자 하는 연구들이 이질적이라고 전제하는 랜덤효과 모델(Random-effect)과 동질적이라고 가정하는 고정효과 모델(Fixed-effect)을 사용하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 결과 변수를 시각운동 탐색과 분리 주의력, 인지적 유연성을 평가하는 선로 잇기검사(Trail Making Test: TMT)와 색선로잇기검사(Color Trail Test: CTT)를 한 군으로 하였고 인지 제어 및 통제를 평가하는 스트룹검사 Stroop test)로 분류하여 각각의 효과크기를 계산하였다. 산출된 효과크기는 절대값에 따라 Small, Medium, Large로 구분하여 크기를 비교할 수 있다. 효과크기가 0.2 이하이면 작은(Small) 효과크기이고, 0.5 이상 0.8 이하이면 보통(Medium) 효과크기, 0.8 이상은 큰(Large) 효과크기로 해석하였다(Cohen, 1992). 산출된 효과크기는 숲그림(Forest plot)을 사용하여 결합추정치와 신뢰구간을 시각적 결과로 제시하였다.

#### 3) 출판편의

출판편의란 연구의 검색과정에서 긍정적으로 유의한 결과를 도출한 연구가 문헌 검색 시 더 많이 검색되고 더 쉽게 출간되는 경향을 말하며 이는 메타분석 결과를 왜곡시킬 가능성이 있다(Hwang, 2016; Simes, 1987). 본 연구에서는 개별 연구 결과의 편향(Bias)이 있는지 확인하기 위해 깔대기 점도표법(Funnell plot)과 Egger's Regression test를 사용하여 검토하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 논문 선정

본 연구에서는 노인에게 이중과제 훈련을 적용했을 때 실행기능의 효과를 알아보기 위하여 총 344편의 문헌을 검색하였다. 그 중에서 중복된 문헌 31편을 제외하고, 선정기준과 배제 기준에 따라 추가적으로 291편을 제외하였다. 남은 22편의 문헌을 검토하여 이중과제 중 인지과제와 운동과제의 구분이 명확하지 않은 15편을 제외하여 최종 7편을 선정하였다(Figure 1).

#### 2. 분석 대상 연구의 특성

##### 1) 연구의 질적 수준

본 메타분석 연구에 포함된 문헌은 7편 모두 RCT(Randomized controlled trial) 연구이며, 모두 7-9점으로 ' 좋음'이거나 '매우 좋음'에 해당하는 질적 수준

으로 평가되었다. 다만 7편 모두에서 치료사의 맹검 절차가 설계되지 못했으며, 2편을 제외하고는 피험자의 맹검 절차를 설계하지 못하였다. 하지만 4편에서는 평가자의 맹검 절차에 맞게 설계하였다. 또한 4편에서 피험자의 탈락률 85%를 유지하여 실험을 진행하였다. 세부적인 질적수준 분석 결과는 Table 1에 제시하였다.

##### 2) 근거 제시 방법

본 연구의 대상은 일반 노인이며, 중재방법은 인지과제와 운동과제가 명확하게 구분되며 두 과제가 동시에 수행이 되는 이중과제 훈련이다. 비교군은 단일과제 훈련을 제공한 집단이며, 결과는 실행기능 능력이 평가된다.

##### 3) 연구의 일반적 특성

총 7편의 연구에서 모두 299명의 노인들이 모집되었고, 대상자들의 연령은 66세에서 85세의 범위 안에 있었다. 실험의 1회 수행 시간은 평균적으로 52분이었으

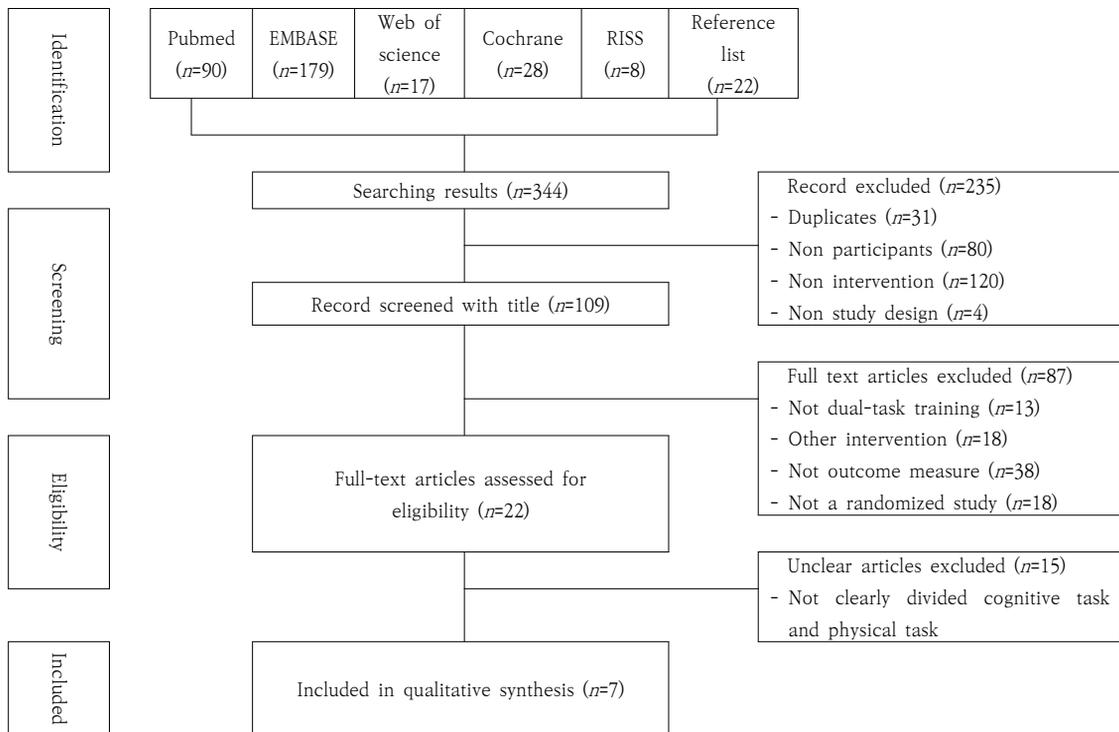


Figure 1. PRISMA Flow Diagram for Literature Selection

Table 1. PEDro Scale for Quality Assessment

No.	Quality assessment scale	Raichlen et al. (2020)	Rezola-Pardo et al. (2019)	Anderson-Hanley et al. (2017)	Gill et al. (2015)	Barcelos et al. (2015)	Yokoyama et al. (2015)	Hiyamizu et al. (2012)
1	Eligibility criteria were specified.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
2	Subjects were randomly allocated to groups.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
3	Allocation was concealed.	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
4	The groups were similar at baseline regarding the most important prognostic indicators.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
5	There was blinding of all subjects.	No	No	No	No	Yes	Yes	No
6	There was blinding of all therapists who administered the therapy.	No	No	No	No	No	No	No
7	There was blinding of all assessors who measured at least one key outcome.	Yes	Yes	No	Yes	No	No	Yes
8	Measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the subjects initially allocated to groups.	No	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
9	Intention to treat.	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
10	The results of between-group statistical comparisons are reported for at least one key outcome.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
11	The study provides both point measures and measures of variability for at least one key outcome.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<b>Study quality sum score (max 11)</b>		<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Table 2. Characteristics of Analyzed Studies

Study	Characteristics of participants			Training protocols		Outcome		
	Sample size	Age (years) (SD)	Training volume	Dual-task training group			Comparison group	
				Cognition	Physical			
1	Raichlen et al. (2020)	74 EG: <i>n</i> =12 CG1: <i>n</i> =17 CG2: <i>n</i> =10 CON: <i>n</i> =12	EG: 67.67 (4.7) CG1: 68.1 (3.9) CG2: 66.35 (3.9) CON: 69.28 (4.3)	30minutes x 3times/week x 12weeks	Navigating maze using controller, 6 additional cognitive task (verbal associates, simon inhibition task, switching, N-back, reaction time, verbal memory)	Cycling	CG1 (physical): single Ex (cycling) CG2 (cognitive): - single cog (navigating maze with 6 additional cog task) CON: video watching	Serially subtract 7's at 500 during dual-task condition
2	Rezola-Pardo et al. (2019)	68 EG: <i>n</i> =35 CG1: <i>n</i> =33	EG: 84.9 (6.7) CG1: 85.3 (7.1)	60minutes x 2times/week x 3months	Attention (divided, sustained and shifting), executive function (inhibitory control and problem solving), semantic memory	Multicomponent exercise (strength/balance)	CG1 (physical): Multicomponent exercise (strength and balance ex)	TMT A
3	Anderson-Hanley et al. (2017)	30 EG: <i>n</i> =10 CG1: <i>n</i> =11 CG2: <i>n</i> =9	EG: 66.3 (10.5) CG1: 72.6 (12.3) CG2: 67 (15.3)	Undescribed	Neuro-exergaming (iPACES) choose correct location and retrace same path, navigating task (training executive function, walking memory)	Cycling	CG1 (physical): : cybercycle along a scenic trail CG2 (cognitive) : nopedaling game with iPACES	Color trail Stroop

CG1=control group1 (single physical group); CG2=control group2 (single cognitive group); CON=control group (no intervention); EG=Dual-task group (experimental group); iPACES=Interactive physical and cognitive exercise system; TMT=Trail Making Task

Table 2. Characteristics of Analyzed Studies (continued)

Study	Characteristics of participants		Training protocols		Outcome	
	Sample size	Age (years) (SD)	Training volume	Dual-task training group		Comparison group
				Cognition	Physical	
4	Gill et al. (2015)	44 EG: $n=23$ CG1: $n=21$	50-75minutes x2-3times/week x26weeks	Arithmetic, verbal fluency task	Beginner level SSE (low cost indoor exercise focus on Lower extremity function, stepping exercise)	CG1 (physical): Beginner level SSE TMT part A,B
5	Barcelos et al. (2015)	20 EG: $n=10$ CG1: $n=10$	45minutes x 3-5times/week x3month	GAME (high cognitive demand: run over matching colored dragon chase, pick up coins)	Stationary bike	CG1 (physical): TOUR game (virtual scenic bike path) Color trail Stroop
6	Yokoyama et al. (2015)	27 EG: $n=12$ CG1: $n=13$	60minutes x 3times/week x 12weeks	During resistance, aerobic exercise. 1) Arithmetic tasks 2) Shiritori (word chain game)	15min of mental gymnastics motion of fingers, 25min resistance training, 10min aerobic exercise, 10min flexibility ex.	CG1 (physical): Simple resistance and aerobic training TMT A
7	Hiyamizu et al. (2012)	36 EG: $n=17$ CG1: $n=19$	60minutes x 2times/week x 3month	Calculation task, visual search task, verbal fluency task	Balance training	CG1 (physical): Strengthening and balance training TMT Stroop

CG1=control group1 (single physical group); CG2=control group2 (single cognitive group); EG=Dual-task group (experimental group); SSE=Square-stepping exercise; TMT=Trail Making Task

며, 주 3회 시행하였고, 12주 정도 시행하였다. 이중과제 훈련은 운동과제와 인지과제로 나누어진 활동을 동시에 수행하도록 제시한다. 이중과제 훈련의 세부내용에 따라 논문을 분류하면 제공한 운동과제 중 유산소 운동(사이클)을 제공한 논문은 3편이고, 균형을 제공한 논문은 1편, 근력운동과 유산소운동, 균형운동 등 난이도에 맞추어 복합적으로 제공한 논문이 3편이었다. 또한 최종 선정된 논문들 중 대조군을 단일 운동과제로 제공한 논문은 7편이고, 단일 인지과제로 제공한 논문은 2편으로 두 연구에서 대조군을 단일 운동과제와 단일 인지과제 두 군으로 설계하여 실시하였다(Table 2).

#### 4) 개별연구에서 사용된 평가도구

본 연구의 목적인 실행기능의 향상 정도를 도출하기 위해 평가도구별로 분류하여 빈도를 분석하였다. 선로잇기검사를 사용하여 실행기능을 알아본 연구가 4편, 색선로잇기검사를 사용한 연구가 2편, 스트룹검사를 사용한 연구가 3편, 이중과제 상황 중에 연속적인 뿔셈 연산의 정확성으로 평가한 연구가 1편으로 실행기능의 향상을 보기 위해 선로잇기검사 평가도구를 가장 높은 빈도로 사용하였다.

### 3. 메타분석의 결과

#### 1) 통계적 이질성 검사

이중과제 수행 시 실행기능의 효과를 알아본 7개의

논문에서 이질성 검정을 위한  $Q$  통계량은 1.61( $df=6$ ,  $p=.95$ )이었고, I-squared는 .00으로 실행기능의 자료가 동질하다는 것을 알 수 있었다. 실행기능을 평가하는 평가도구의  $Q$  통계량은 선로잇기검사와 색선로잇기검사가 1.06( $df=5$ ,  $p=.95$ )이었고, I-squared 값은 .00, 스트룹검사의  $Q$  통계량은 0.79( $df=2$ ,  $p=.67$ )이고 I-squared는 .00으로 나왔다. 따라서 실행기능을 평가하는 평가도구의 자료는 모두 동질적이었으므로 연구 결과 통합에 고정효과모형을 사용하여 각 개별 결과값들을 통합하였다.

#### 2) 효과크기

노인에게 이중과제 훈련을 적용한 결과 실행기능의 효과는 0.38(95% CI: 0.12~0.65)로 작은 효과크기로 해석할 수 있다. 실행기능의 평가도구 별 분석에서 선로잇기검사와 색선로검사는 0.37(95% CI: 0.09~0.64), 스트룹검사에서는 0.34(95% CI: -0.13~0.82)로 둘 다 작은 효과크기로 확인되었다. 또한 전체 실행기능의 효과와 선로잇기검사와 색선로검사에서만  $p$ 값이 유의미한 것으로 확인되었다( $p<0.05$ )(Figure 2~4).

#### 3) 출판편의의 검정

본 연구에 사용한 7편의 논문의 값들이 모두 영역 내에 분포하고 있고 좌우 또한 비교적 대칭적인 경향을 보였다. 실행기능의 전체 효과의 Egger's regression test 결과 1.06( $p=0.19$ )이 나왔고, 선로잇기검사와 색선

Study name	Statistics for each study						
	Std diff in means	Standard error	Variance	Lower limit	Upper limit	Z-Value	p-Value
Rezola(2019)	0.330	0.244	0.060	-0.149	0.809	1.350	0.177
Anderson(2017)	0.286	0.491	0.241	-0.676	1.248	0.582	0.560
Gill(2015)	0.277	0.303	0.092	-0.317	0.872	0.914	0.361
Barcelos(2015)	0.736	0.517	0.267	-0.276	1.749	1.425	0.154
Yokoyama(2015)	0.613	0.410	0.168	-0.190	1.416	1.497	0.134
Hiyamizu(2012)	0.292	0.336	0.113	-0.366	0.951	0.871	0.384
Average(Fixed)	0.372	0.141	0.020	0.096	0.648	2.640	0.008

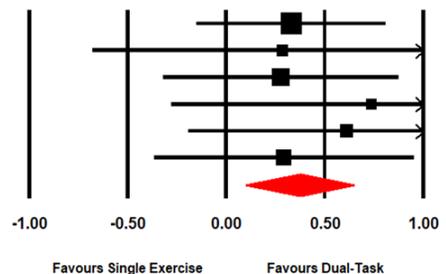


Figure 2. Forest Plot Effect Sizes for TMT & CTT

Study name	Statistics for each study						
	Std diff in means	Standard error	Variance	Lower limit	Upper limit	Z-Value	p-Value
Raichlen(2020)	0.631	0.417	0.174	-0.186	1.447	1.515	0.130
Rezola(2019)	0.330	0.244	0.060	-0.149	0.809	1.350	0.177
Anderson(2017)	0.201	0.489	0.239	-0.757	1.159	0.412	0.680
Gill(2015)	0.239	0.303	0.092	-0.355	0.833	0.788	0.431
Barcelos(2015)	0.726	0.509	0.259	-0.272	1.723	1.426	0.154
Yokoyama(2015)	0.613	0.410	0.168	-0.190	1.416	1.497	0.134
Hiyamizu(2012)	0.290	0.336	0.113	-0.369	0.949	0.862	0.389
Average(Fixed)	0.384	0.133	0.018	0.123	0.646	2.883	0.004

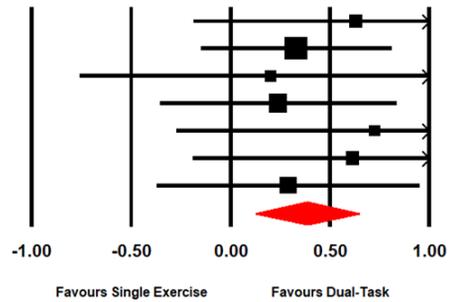


Figure 3. Forest Plot of Effect Sizes for Executive Function

Study name	Statistics for each study						
	Std diff in means	Standard error	Variance	Lower limit	Upper limit	Z-Value	p-Value
Anderson(2017)	0.117	0.487	0.237	-0.837	1.071	0.240	0.810
Barcelos(2015)	0.715	0.501	0.251	-0.267	1.697	1.427	0.154
Hiyamizu(2012)	0.288	0.337	0.114	-0.373	0.948	0.853	0.394
Average(Fixed)	0.345	0.243	0.059	-0.130	0.821	1.424	0.154

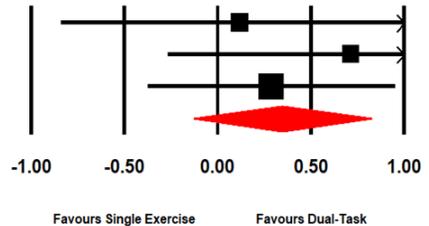


Figure 4. Forest Plot Effect Sizes for Stroop Test

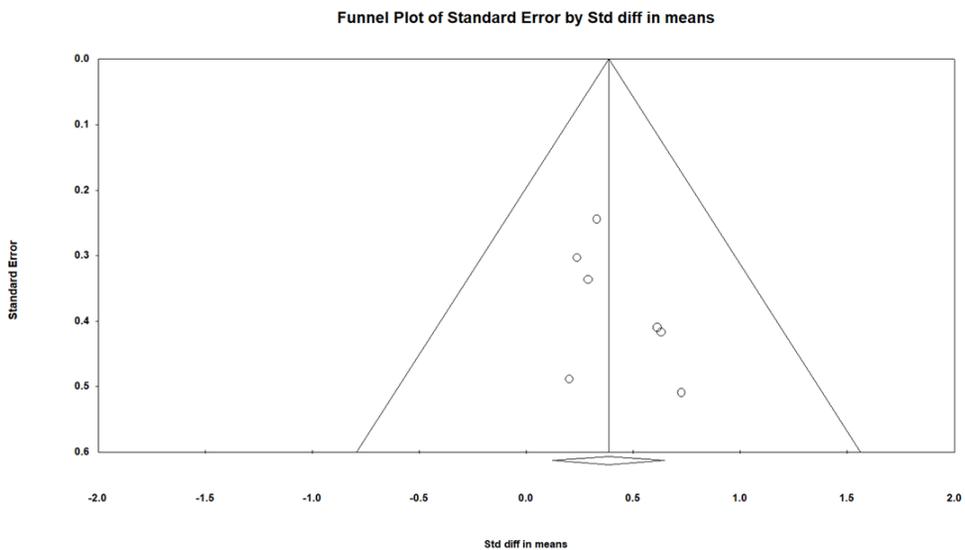


Figure 5. Funnel Plot of Meta-Analysis

로검사는 0.97( $p=0.20$ ), 스트룹검사에서는 0.92 ( $p=0.78$ )로 모든 값이 통계적으로도 유의하지 않았다. 하지만, Sterne 등(2011)의 연구에 따르면 출판비돌림 탐색 방법에서 무작위배정 비교임상시험연구를 기준으로 적어도 10개 이상의 연구가 적절하게 비돌림을 탐색할 수 있다는 권고가 있으므로 해당 연구의 출판편의의 검정을 온전히 신뢰하기는 어렵다(Sterne, Egger, & Moher, 2008). 즉, 통계적으로는 출판편의의 위험성이 낮다고 나왔으나 깔대기 점도표 분석으로는 출판편의를 배제할 수 없는 것으로 확인되었다(Figure 5).

#### IV. 고 찰

본 연구에서는 노인들을 대상으로 이중과제 훈련을 적용하여 실행기능의 효과를 본 연구들을 체계적으로 고찰하고 실행기능 평가도구인 선로잇기검사와 색선로잇기검사, 스트룹검사를 결과 변수로 설정하여 메타분석을 시행하였다. 이중과제 훈련의 유형을 서로 구분되는 인지과제와 운동과제를 동시에 수행하는 훈련으로 한정하여 실행기능의 효과를 확인한 선행연구들은 최근 10년간 20편 이상이었고 이중에 10편 이상은 최근 5년 내에 발표된 연구들로, 최근 이중과제 훈련이 임상에서 많은 관심을 받고 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 최근 이중과제 훈련에 대한 관심이 높아지고 있고, 간단한 방법을 통해 임상 환경에서의 적용이 쉽다는 연구 결과와 일치한다(Lee & Jung, 2016). 또한 본 연구에 포함된 7편의 연구들을 PEDro Scale을 통해 질적 수준을 분석한 결과, 모두 RCT 논문으로 대부분 7-9점대의 높은 점수 수준을 받아 전반적으로 수준 높은 실험 설계를 토대로 연구가 진행되고 있었다. 이중과제 훈련의 효과를 주로 단일 과제 훈련의 효과와 비교하였는데 본 연구에서는 주로 단일 운동과제 훈련의 효과와 비교한 연구는 7편, 단일 인지과제 훈련의 효과와 비교한 연구는 2편으로 실행기능의 효과를 비교하였다. 이는 주로 이중과제 훈련의 효과와 목적이 주로

이중과제 훈련 시 걷기와 균형잡기와 같은 운동기능에 초점을 맞추었다는 He 등(2018)의 연구 결과와 유사하다.

노인에게 인지기능의 향상을 위해 다양한 방법들로 이중과제를 수행하고 있는데 이중과제 훈련을 크게 두 가지 유형으로 나누어서 진행하기도 한다. 서로 다른 인지과제와 운동과제를 순차적으로 시행하는 '순차적 이중과제(Sequential dual-task)' 훈련과 서로 다른 인지과제와 운동과제를 동시에 시행하는 '동시적 이중과제(Simultaneous dual-task)' 훈련으로 분류할 수 있다(Tait, Duckham, Milte, Main, & Daly, 2017). de Bruin, van Het Reve와 Murer(2013)의 연구에서는 순차적 이중과제 훈련과 단일 운동과제 훈련을 비교하여 이중과제 훈련의 효과를 확인 시행하고 McDaniel 등(2014)의 연구에서는 순차적 이중과제, 단일 운동과제와 단일 인지과제를 비교하여 각각의 훈련의 효과를 비교하였다. 하지만 운동의 신경가소성 촉진 물질인 뇌유래신경영양인자(Brain-derived neurotrophic factor: BDNF)는 운동 직후나 운동을 하고 있는 동안 두드러지게 증가하기 때문에 이중과제 훈련을 동시에 수행하는 것이 더 효과적이라고 보고되고 있다(Knaepen, Goekint, Heyman, & Meeusen, 2010). 실제로 Anderson-Hanley 등(2012)의 연구에서 가상현실을 이용한 인지훈련과 자전거 타기를 동시에 수행한 군과 자전거 타기만 수행한 군을 비교하였을 때, 이중과제 훈련을 적용한 군에서 BDNF가 더 크게 증가하였다. 또한 Tait 등(2017)과 Gheysen 등(2018)의 고찰 연구에서 순차적 이중과제와 동시적 이중과제의 효과를 서로 비교하였을 때 동시적 이중과제가 더 인지기능 향상에 효과적이라는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서도 선행연구에 따라 실행기능의 향상을 보기 위한 훈련으로 동시적 이중과제 훈련을 통해 확인하였다. 하지만 실행기능의 향상을 보기 위한 순차적 이중과제 훈련은 배제하였으므로 실행기능평가에 대한 두 이중과제 훈련 간의 효과크기를 비교하는 데는 어려움이 있다.

이중과제 훈련은 주의력을 필요로 하는 서로 다른

두 가지 이상의 과제를 동시에 시행하면서 과제 사이의 간섭효과를 최대한 억제할 때 크게 활성화되는 실행기능을 향상시킬 수 있다(Eggenberger, Schumacher, Angst, Theill, & de Bruin, 2015). 이것은 전전두엽의 뇌영상 연구결과로도 입증되는데, Doi 등(2013)의 연구에서 노인이 이중과제를 하는 동안의 활성화되는 뇌의 부위가 전전두엽임을 확인하였고, 전전두엽의 활성화도는 실행기능을 평가하는 스트룹검사 결과와도 유의한 상관성을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 Ohsugi, Ohgi, Shigemori와 Schneider(2013)의 연구에서는 노인그룹에서 이중과제 시 전전두엽의 활성화도와 실행기능을 평가하는 선로잇기검사 결과의 통계적으로 유의한 부적상관관계를 보임을 확인할 수 있었다. 본 연구에서도 이중과제 훈련의 효과를 전전두엽에서 주로 담당하는 실행기능에 초점을 맞추어 총 7편의 연구의 실행기능 효과를 통합하여 유의하게 효과가 있다는 결과를 얻을 수 있었다.

실행기능을 평가하는 결과 변수를 선로잇기검사와 색선로잇기검사로 묶어 하나의 군으로 분석한 효과크기는 유의하지만 효과크기가 다소 작음을 확인할 수 있었다. 두 평가도구를 하나로 묶어서 분석한 것은 실행기능에서 측정하고자 하는 하위 요소가 동일하기 때문인데, 선로잇기검사와 색선로잇기검사 모두 시각적 집중력과 과제 전환능력, 인지의 유연성을 평가하는 평가 도구이다(Arnett & Labovitz, 1995; Donoghue et al., 2012). 효과크기가 작게 나타난 이유로는, 2편의 연구에서 선로잇기 A검사만을 사용해서 결과값을 산출하였기에 실행기능의 효과를 보는 효과크기에 부정적인 영향을 미쳤을 수 있기 때문이다(Rezola-Pardo et al., 2019; Yokoyama et al., 2015). 색선로 잇기 및 선로잇기 A파트 검사는 숫자 순서에 맞게 선을 잇는 평가이며 이는 주로 시각적정보의 처리 속도와 연관되는 반면, 선로 잇기 및 선로잇기 B파트 검사는 숫자와 알파벳을 번갈아가며 순서에 맞게 선을 잇는 평가로 시각 정보의 전환 및 분리 주의력을 평가한다(Kortte, Horner, & Windham, 2002). 또한, 파트별 검사 결과의 비율이나

차이를 Delta TMT(TMT B- TMT A)나 TMT ratio(TMT B/TMT A)로 계산하여 실행기능 수준을 평가하기도 한다(Arbuthnott & Frank, 2000; Egeland & Langfjæran, 2007). 따라서 실행기능 수준을 명확히 평가하기 위해서는 A파트 검사로만 실행기능의 향상을 평가하는 것보다 시각적 처리 속도와 시각 정보의 전환 분리주의력을 모두 평가하여 통합된 결과값으로 효과크기를 구하거나 평가도구의 변환값을 활용할 필요가 있다(Kortte et al., 2002; Oosterman et al., 2010). 하지만 이와 다르게 선로잇기검사 A파트만 사용한 Yokoyama 등(2015)의 연구에서는 효과크기가 0.613으로 평균보다 크게 나와 위의 설명과는 맞지 않는 점을 확인할 수 있다. 그 이유로는 해당 연구가 다른 연구에 비해 훈련시간이 두 번째로 높았으며, 용량효과(Dose effect)에 따라 효과크기가 크게 영향을 미쳤을 것이라 사료된다. 다시 말하면 본 연구에서 선로잇기검사와 색선로잇기검사 군에서 실행기능의 효과크기가 작게 나온 이유는 분석된 7편의 논문 중 2편에서 평가도구의 결과값을 일부만 사용하였기 때문이고 또한 이중과제 훈련시간의 차이가 효과크기에 영향을 주었다고 생각할 수 있다.

반면에, 실행기능을 평가하는 결과변수 스트룹검사로 통합한 효과크기 분석은 작은 효과크기로 나타났으나 유의하지는 않았다. 스트룹검사는 신경심리학적 평가로 색과 단어의 색이 일치하지 않은 단어의 색깔을 맞추는 평가로 평가과정 중에 시지각 과제의 간섭작용을 경험하고 자동 반사적인 반응을 극복하려면 인지적 조절과 통제가 필요하여 실행기능 평가로 많이 활용되는 평가도구이다(Egner & Hirsch, 2005; Scarpina & Tagini, 2017). 본 연구에서도 실행기능의 효과를 분석하기 위해 스트룹검사를 평가도구 사용한 문헌을 선별하였으나 분석한 7편의 논문에서 스트룹검사로 측정된 값은 3개로 매우 제한적이었다. 또한 이중과제 훈련으로 제시한 운동과제들 중 2편은 자전거타기, 1편은 운동과제의 난이도 조절이 명시되어 있지 않은 균형 훈련을 시행한 연구였다(Anderson-Hanley, Maloney, Barcelos, Striegnitz, & Kramer, 2017; Barcelos et al.,

2015; Hiyamizu, Morioka, Shomoto, & Shimada, 2012). 이중과제 훈련은 인지와 운동과제 사이에서 서로 다른 간섭효과를 극대화하여 실행기능을 향상시키는 훈련인데, 과제의 난이도가 대상자들에게 낮으면 간섭효과를 실행기능의 향상으로 전이하기에 충분하지 않을 수 있다(Liao et al., 2019). 이와 같은 특성이 효과 크기의 유의성에 영향을 미쳤을 것으로 사료되며, 따라서 향후에 이중과제 훈련을 통해 실행기능을 향상시키고자 하는 연구에는 높은 강도나 기간 등 충분히 도전적인 난이도를 이용한 과제를 제시할 필요가 있다.

본 연구는 노인에게 이중과제 훈련을 수행했을 때 실행기능의 효과를 확인하고자 하였다. 실행기능은 목표지향적인 활동을 수행하기 위한 일련의 복잡한 인지적 활동인데, 계획하기, 감독하기, 통제하기와 같은 필수적인 인지적 기능이 포함된 인지기능이다. 실행기능은 크게 억제기능, 작업기억과 인지적 유연성 이렇게 3개의 큰 하위 인지항목으로 구분할 수 있다(Diamond, 2013). 3개의 인지항목 중에 본 연구에서는 실행기능의 억제기능을 확인하고자 하는 스트룹검사와 인지적 유연성을 확인하고자 하는 선로잇기검사와 색선로잇기 검사 도구만을 활용하여 실행기능의 효과크기를 측정하였는데, 실행기능의 큰 축 중 하나인 작업기억에 관한 평가도구는 제외시켰기 때문에 메타 분석 결과 효과크기가 유의하지만 작은 효과크기로 측정된 것이라 생각한다. 실제로 Ogawa, You와 Leveille(2016)의 연구에서는 인지과제와 운동과제를 동시에 수행하는 훈련 시 처리속도가 향상된다는 결과를 확인하였고 처리속도의 향상은 실행기능에서 작업기억과 밀접한 연관이 있다(Su, Wuang, Lin, & Su, 2015). 따라서 실행기능의 효과크기를 명확히 측정하고자 한다면 실행기능의 큰 3개의 하위 인지항목을 모두 포함한 평가도구로 통합하여 효과크기를 구해야 할 것이다.

또한, 본 연구에서는 이중과제가 실행기능에 미치는 효과를 신경심리학적인 평가도구로만 알아보았다. 그러나 최근 연구들 중에는 이중과제 상황 속에서 수행 수준을 평가하는 이중과제 수행도(Dual-Task Effect:

DTE)로 효과를 확인하거나, 이중과제의 간섭효과크기를 질적으로 계산하는 이중과제 소요수준(Dual-Task Costs: DTC)으로 효과를 확인하는 연구들이 많이 진행되고 있다(Falbo, Condello, Caprainca, Forte, & Pesce, 2016; Liao et al., 2019; Liu, Yang, Tsai, & Wang, 2017; Plummer-D'Amato et al., 2012). 이중과제 훈련을 통해 향상시키고자 하는 실행기능은 목표지향적 활동을 위한 복합적 인지기능이다. 따라서 단일과제에 초점이 맞춰진 신경심리학적 평가와 더불어 실제 이중과제가 이루어지는 조건 속에서 과제 수행도나 과제 소요도를 함께 평가하여 이중과제 훈련의 효과를 확인한다면 보다 명확히 이중과제 훈련을 통한 효과를 평가할 수 있을 것이다.

본 연구는 이중과제 훈련의 실행기능의 도구별로 분류하여 분석하여 유의한 효과가 있음을 확인하였다. 하지만, 이중과제 훈련이 서로 다른 두 과제를 동시에 수행하여 간섭효과를 조절하는 훈련이므로 이중과제를 구성하는 인지과제를 컴퓨터 게임을 활용했는지, 전통적인 언어적 인지과제들로 구성했는지, 또는 운동과제를 걷기나 균형잡기로 구성했는지, 가상현실 자전거나 컴퓨터게임으로 구성했는지, 각각의 과제들에게 난이도를 부여했는지에 따라 효과크기가 상이하게 분석될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최종 분석에 활용된 연구의 수의 제한으로 분석하지 못하였으나 향후, 메타분석을 통해 이중과제 훈련의 특성에 따른 효과크기 확인할 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 배제되었으나 오늘날 이중과제 연구에서는 인지와 운동과제를 명확하게 구분하지 않은 결합된 형태의 이중과제를 훈련에 적용하기도 한다. Schoene 등(2015)의 연구에서는 컴퓨터 게임과 같은 형태로 인지과제와 운동과제를 결합하여 훈련하여 실행기능의 효과를 확인하였고, Mrakic-Sposta 등(2018)의 연구에는 가상현실 속에서 길찾기 또는 일상적인 상황에서 일어나는 인지과제와 자전거 타기를 결합한 훈련을 적용하였다. 또한 다양한 운동프로그램으로 구성된 프로그램 중에 이중과제 훈련을 포함하여 훈련하는 연구도 있었다(Eggenberger et al.,

2015; Park et al., 2019). 따라서 향후 연구에서는 다양한 형태의 이중과제 훈련을 세부 분류하여 그 효과를 비교할 필요가 있다.

현재 이중과제 훈련에 대한 학계의 집중과 더불어 노인의 인지기능 보존에 관한 필요성이 대두되고 있는 시점에서, 본 연구 결과는 임상에서 노인에게 이중과제 훈련을 제공할 때 실행기능 향상에 도움이 될 수 있는 정보를 제공하고 향후 노인들이 인지기능을 잘 보존하여 치매의 발현을 예방하여 사회적 비용을 줄이는데 기여할 수 있을 것이다.

## V. 결 론

본 연구에서는 메타분석을 통해 노인들을 대상으로 이중과제 훈련을 적용하였을 때 실행기능의 효과를 알아보았다. 실행기능을 모두 결합한 효과크기와 선로잇기검사와 색선로검사의 효과는 통계적으로 유의하며 이중과제 훈련의 효과가 있음을 확인하였다. 이중과제 훈련의 효과를 높이기 위해서는 훈련의 난이도 설정이 중요하며, 실행기능을 평가하는 다양한 평가도구와 실제 이중과제 조건에서의 수행도를 평가하는 평가도 동시에 이루어져야 함을 알 수 있었다.

## Acknowledgement

이 논문은 순천향대학교 학술연구비 지원 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1060719). 본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

## References

Amieva, H., Jacqmin-Gadda, H., Orgogozo, J. M., Le Carret, N., Helmer, C., Letenneur, L., ... Dartigues, J. F. (2005).

The 9 year cognitive decline before dementia of the Alzheimer type: A prospective population-based study. *Brain*, *128*(5), 1093-1101. doi:10.1093/brain/awh451

Anderson-Hanley, C., Arciero, P. J., Brickman, A. M., Nimon, J. P., Okuma, N., Westen, S. C., ... Zimmerman, E. A. (2012). Exergaming and older adult cognition: A cluster randomized clinical trial. *American Journal of Preventive Medicine*, *42*(2), 109-119. doi:10.1016/j.amepre.2011.10.016

Anderson-Hanley, C., Maloney, M., Barcelos, N., Striegnitz, K., & Kramer, A. (2017). Neuropsychological benefits of neuro-exergaming for older adults: A pilot study of an interactive physical and cognitive exercise system (iPACES). *Journal of Aging and Physical Activity*, *25*(1), 73-83. doi:10.1123/japa.2015-0261

Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Trail Making Test, part B as a measure of executive control: Validation using a set-switching paradigm. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *22*(4), 518-528. doi:10.1076/1380-3395(200008)22:4:1-0:FT518

Arnett, J. A., & Labovitz, S. S. (1995). Effect of physical layout in performance of the Trail Making Test. *Psychological Assessment*, *7*(2), 220-221. doi:10.1037/1040-3590.7.2.220

Bamidis, P. D., Vivas, A. B., Styliadis, C., Frantzidis, C., Klados, M., Schlee, W., ... Papageorgiou, S. G. (2014). A review of physical and cognitive interventions in aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *44*, 206-220. doi:10.1016/j.neubiorev.2014.03.019

Barcelos, N., Shah, N., Cohen, K., Hogan, M. J., Mulkerrin, E., Arciero, P. J., ... Anderson-Hanley, C. (2015). Aerobic and Cognitive Exercise (ACE) pilot study for older adults: Executive function improves with cognitive challenge while exergaming. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, *21*(10), 768-779. doi:10.1017/S1355617715001083

Cahn-Weiner, D. A., Boyle, P. A., & Malloy, P. F. (2002). Tests of executive function predict instrumental activities of daily living in community-dwelling older individuals. *Applied Neuropsychology*, *9*(3), 187-191. doi:10.1207/S15324826AN0903\_8

Cockburn, P. H. J. (1998). Concurrent performance of cognitive and motor tasks in neurological rehabilitation. *Neuropsychological Rehabilitation*, *8*(2), 155-170. doi:10.1080/71375556

- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98-101. doi:10.1111/1467-8721.ep10768783
- Cornelis, E., Gorus, E., Van Schelvergem, N., & De Vriendt, P. (2019). The relationship between basic, instrumental, and advanced activities of daily living and executive functioning in geriatric patients with neurocognitive disorders. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 34(6), 889-899. doi:10.1002/gps.5087
- de Bruin, E. D., van Het Reve, E., & Murer, K. (2013). A randomized controlled pilot study assessing the feasibility of combined motor-cognitive training and its effect on gait characteristics in the elderly. *Clinical Rehabilitation*, 27(3), 215-225. doi:10.1177/0269215512453352
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Doi, T., Makizako, H., Shimada, H., Park, H., Tsutsumimoto, K., Uemura, K., & Suzuki, T. (2013). Brain activation during dual-task walking and executive function among older adults with mild cognitive impairment: A fNIRS study. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(5), 539-544. doi:10.1007/s40520-013-0119-5
- Donoghue, O. A., Horgan, N. F., Savva, G. M., Cronin, H., O'Regan, C., & Kenny, R. A. (2012). Association between timed Up-and-Go and memory, executive function, and processing speed. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(9), 1681-1686. doi:10.1111/j.1532-5415.2012.04120.x
- Egeland, J., & Langfjæran, T. (2007). Differentiating malingering from genuine cognitive dysfunction using the Trail Making Test-ratio and Stroop Interference scores. *Applied Neuropsychology*, 14(2), 113-119. doi:10.1080/09084280701319953
- Eggenberger, P., Schumacher, V., Angst, M., Theill, N., & de Bruin, E. D. (2015). Does multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training boost cognitive performance in older adults? A 6-month randomized controlled trial with a 1-year follow-up. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 1335-1349. doi:10.2147/CIA.S87732
- Eggenberger, P., Wolf, M., Schumann, M., & de Bruin, E. D. (2016). Exergame and balance training modulate prefrontal brain activity during walking and enhance executive function in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 1-16. doi:10.3389/fnagi.2016.00066
- Egner, T., & Hirsch, J. (2005). The neural correlates and functional integration of cognitive control in a Stroop task. *Neuroimage*, 24(2), 539-547. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.09.007
- Falbo, S., Condello, G., Capranica, L., Forte, R., & Pesce, C. (2016). Effects of physical-cognitive dual task training on executive function and gait performance in older adults: A randomized controlled trial. *BioMed Research International*, 2016, 1-13. doi:10.1155/2016/5812092
- Fissler, P., Küster, O., Schlee, W., & Kolassa, I. T. (2013). Novelty interventions to enhance broad cognitive abilities and prevent dementia: Synergistic approaches for the facilitation of positive plastic change. *In Progress in Brain Research*, 207, 403-434. doi:10.1016/B978-0-444-63327-9.00017-5
- Funahashi, S. (2001). Neuronal mechanisms of executive control by the prefrontal cortex. *Neuroscience Research*, 39(2), 147-165. doi:10.1016/S0168-0102(00)00224-8
- Gheysen, F., Poppe, L., DeSmet, A., Swinnen, S., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., ... Fias, W. (2018). Physical activity to improve cognition in older adults: Can physical activity programs enriched with cognitive challenges enhance the effects? A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 15(1), 1-13. doi:10.1186/s12966-018-0697-x
- Gill, D. P., Gregory, M. A., Zou, G., Liu-Ambrose, T., Shigematsu, R., Hachinski, V., ... Petrella, R. (2015). The healthy mind, healthy mobility trial: A novel exercise program for older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(2), 297-306. doi:10.1249/MSS.0000000000000758
- Grober, E., Hall, C. B., Lipton, R. B., Zonderman, A. B., Resnick, S. M., & Kawas, C. (2008). Memory impairment, executive dysfunction, and intellectual decline in preclinical Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14(2), 266-278. doi:10.1017/S1355617708080302
- He, Y., Yang, L., Zhou, J., Yao, L., & Pang, M. Y. C. (2018). Dual-task training effects on motor and cognitive functional abilities in individuals with stroke: A

- systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 32(7), 865-877. doi:10.1177/0269215518758482
- Hiyamizu, M., Morioka, S., Shomoto, K., & Shimada, T. (2012). Effects of dual task balance training on dual task performance in elderly people: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 26(1), 58-67. doi:10.1177/0269215510394222
- Hwang, S. D. (2016). Publication bias in meta-analysis: Its meaning and analysis. *Korean Journal Human Development*, 23(1), 1-19. doi:10.15284/kjhd.2016.23.1.1
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity-exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor. *Sports Medicine*, 40(9), 765-801. doi:10.2165/11534530-00000000-00000
- Kortte, K. B., Horner, M. D., & Windham, W. K. (2002). The Trail Making Test, part B: Cognitive flexibility or ability to maintain set? *Applied Neuropsychology*, 9(2), 106-109. doi:10.1207/S15324826AN0902\_5
- Lauenroth, A., Ioannidis, A. E., & Teichmann, B. (2016). Influence of combined physical and cognitive training on cognition: A systematic review. *BMC Geriatrics*, 16(1), 1-14. doi:10.1186/s12877-016-0315-1
- Law, L. L., Barnett, F., Yau, M. K., & Gray, M. A. (2014). Effects of combined cognitive and exercise interventions on cognition in older adults with and without cognitive impairment: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, 15, 61-75. doi:10.1016/j.arr.2014.02.008
- Lee, B. K., & Sohn, Y. K. (2016). The effects of statistical artifacts on outcomes in meta-analysis: The comparative analysis of hedges-olkin and hunter-schmidt meta-analytic approaches. *Health Communication Research*, 15, 47-97.
- Lee, Y. J., & Jung, M. Y. (2016). A systematic review of the dual-task training for stroke with hemiplegia. *Therapeutic Science for Neurorehabilitation*, 5(1), 23-32. doi:10.22683/tsnr.2016.5.1.023
- Legault, C., Jennings, J. M., Katula, J. A., Dagenbach, D., Gaussoin, S. A., Sink, K. M., ... SHARP-P Study Group. (2011). Designing clinical trials for assessing the effects of cognitive training and physical activity interventions on cognitive outcomes: The Seniors Health and Activity Research Program Pilot (SHARP-P) study, a randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, 11(1), 1-14. doi:10.1186/1471-2318-11-27
- Liao, Y., Chen, I., Lin, Y. J., Chen, Y., & Hsu, W. (2019). Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in elderly individuals with mild cognitive impairment: A randomized control trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 11, 1-10. doi:10.3389/fnagi.2019.00162
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., ... Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), 1-34. doi:10.1016/j.jclinepi.2009.06.006
- Linde, K., & Alfermann, D. (2014). Single versus combined cognitive and physical activity effects on fluid cognitive abilities of healthy older adults: A 4-month randomized controlled trial with follow-up. *Journal of Aging and Physical Activity*, 22(3), 302-313. doi:10.1123/JAPA.2012-0149
- Liu, Y. C., Yang, Y. R., Tsai, Y. A., & Wang, R. Y. (2017). Cognitive and motor dual task gait training improve dual task gait performance after stroke - A randomized controlled pilot trial. *Scientific Reports*, 7(1), 1-8. doi:10.1038/s41598-017-04165-y
- McDaniel, M. A., Binder, E. F., Bugg, J. M., Waldum, E. R., Dufault, C., Meyer, A., ... Kudelka, C. (2014). Effects of cognitive training with and without aerobic exercise on cognitively demanding everyday activities. *Psychology and Aging*, 29(3), 717-730. doi:10.1037/a0037363
- Mercier, L., Audet, T., Hébert, R., Rochette, A., & Dubois, M. F. (2001). Impact of motor, cognitive, and perceptual disorders on ability to perform activities of daily living after stroke. *Stroke*, 32(11), 2602-2608. doi:10.1161/hs1101.098154
- Moseley, A. M., Herbert, R. D., Sherrington, C., & Maher, C. G. (2002). Evidence for physiotherapy practice: A survey of the Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Australian Journal of Physiotherapy*, 48(1), 43-49. doi:10.1016/S0004-9514(14)60281-6
- Mrakic-Sposta, S., Di Santo, S. G., Franchini, F., Arlati, S., Zangiacomini, A., Greci, L., ... Sacco, M. (2018). Effects of combined physical and cognitive virtual

- reality-based training on cognitive impairment and oxidative stress in MCI patients: A pilot study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *10*, 1-11. doi:10.3389/fnagi.2018.00282
- Nishiguchi, S., Yamada, M., Tanigawa, T., Sekiyama, K., Kawagoe, T., Suzuki, M., ... Aoyama, T. (2015). A 12-week physical and cognitive exercise program can improve cognitive function and neural efficiency in community-dwelling older adults: A randomized controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, *63*(7), 1355-1363. doi:10.1111/jgs.13481
- Ogawa, E. F., You, T., & Leveille, S. G. (2016). Potential benefits of exergaming for cognition and dual-task function in older adults: A systematic review. *Journal of Aging and Physical Activity*, *24*(2), 332-336. doi:10.1123/japa.2014-0267
- Ohsugi, H., Ohgi, S., Shigemori, K., & Schneider, E. B. (2013). Differences in dual-task performance and prefrontal cortex activation between younger and older adults. *BMC Neuroscience*, *14*(1), 1-9. doi:10.1186/1471-2202-14-10
- Oosterman, J. M., Vogels, R. L., van Harten, B., Gouw, A. A., Poggesi, A., Scheltens, P., ... Scherder, E. J. (2010). Assessing mental flexibility: Neuroanatomical and neuropsychological correlates of the Trail Making Test in elderly people. *The Clinical Neuropsychologist*, *24*(2), 203-219. doi:10.1080/13854040903482848
- Park, H., Park, J. H., Na, H. R., Hiroyuki, S., Kim, G. M., Jung, M. K., ... Park, K. W. (2019). Combined intervention of physical activity, aerobic exercise, and cognitive exercise intervention to prevent cognitive decline for patients with mild cognitive impairment: A randomized controlled clinical study. *Journal of Clinical Medicine*, *8*(7), 1-12. doi:10.3390/jcm8070940
- Pellecchia, G. L. (2005). Dual-task training reduces impact of cognitive task on postural sway. *Journal of Motor Behavior*, *37*(3), 239-246. doi:10.3200/JMBR.37.3.239-246
- Plummer-D'Amato, P., Brancato, B., Dantowitz, M., Birken, S., Bonke, C., & Furey, E. (2012). Effects of gait and cognitive task difficulty on cognitive-motor interference in aging. *Journal of Aging Research*, *2012*, 1-9. doi:10.1155/2012/583894
- Poulin, V., Korner-Bitensky, N., Dawson, D. R., & Bherer, L. (2012). Efficacy of executive function interventions after stroke: A systematic review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, *19*(2), 158-171. doi:10.1310/tsr1902-158
- Priest, A. W., Salamon, K. B., & Hollman, J. H. (2008). Age-related differences in dual task walking: A cross sectional study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *5*(1), 1-8. doi:10.1186/1743-0003-5-29
- Rahe, J., Becker, J., Fink, G. R., Kessler, J., Kukolja, J., Rahn, A., ... Kalbe, E. (2015). Cognitive training with and without additional physical activity in healthy older adults: Cognitive effects, neurobiological mechanisms, and prediction of training success. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *7*, 1-15. doi:10.3389/fnagi.2015.00187
- Raichlen, D. A., Bharadwaj, P. K., Nguyen, L. A., Franchetti, M. K., Zigman, E. K., Solorio, A. R., & Alexander, G. E. (2020). Effects of simultaneous cognitive and aerobic exercise training on dual-task walking performance in healthy older adults: Results from a pilot randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, *20*(1), 1-10. doi:10.1186/s12877-020-1484-5
- Rezola-Pardo, C., Arrieta, H., Gil, S. M., Zarrazquin, I., Yanguas, J. J., López, M. A., ... Rodriguez-Larrad, A. (2019). Comparison between multicomponent and simultaneous dual-task exercise interventions in long-term nursing home residents: The Ageing-ONDUAL-TASK randomized controlled study. *Age and Ageing*, *48*(6), 817-823. doi:10.1093/ageing/afz105
- Scarpina, F., & Tagini, S. (2017). The stroop color and word test. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1-8. doi:10.3389/fpsyg.2017.00557
- Schätin, A., Arner, R., Gennaro, F., & de Bruin, E. D. (2016). Adaptations of prefrontal brain activity, executive functions, and gait in healthy elderly following exergame and balance training: A randomized-controlled study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *8*, 1-13. doi:10.3389/fnagi.2016.00278
- Schoene, D., Valenzuela, T., Toson, B., Delbaere, K., Severino, C., Garcia, J., ... Lord, S. R. (2015). Interactive cognitive-motor step training improves cognitive risk factors of falling in older adults—a randomized controlled trial. *PLoS One*, *10*(12), 1-18. doi:10.1371/journal.pone.0145161

- Simes, R. J. (1987). Confronting publication bias: A cohort design for meta-analysis. *Statistics in Medicine*, *6*(1), 11-29. doi:10.1002/sim.4780060104
- Smith, A. M., Spiegler, K. M., Sauce, B., Wass, C. D., Sturzoiu, T., & Matzel, L. D. (2013). Voluntary aerobic exercise increases the cognitive enhancing effects of working memory training. *Behavioural Brain Research*, *256*, 626-635. doi:10.1016/j.bbr.2013.09.012
- Sterne, J. A., Egger, M., & Moher, D. (2008). Addressing reporting biases. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions: Cochrane Book Series*, 297-333. doi:10.1002/9780470712184.ch10
- Sterne, J. A., Sutton, A. J., Ioannidis, J. P., Terrin, N., Jones, D. R., Lau, J., ... Tetzlaff, J. (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *The British Medical Journal*, *2011*, 1-8. doi:10.1136/bmj.d4002
- Su, C. Y., Wuang, Y. P., Lin, Y. H., & Su, J. H. (2015). The role of processing speed in post-stroke cognitive dysfunction. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *30*(2), 148-160. doi:10.1093/arclin/acu057
- Tait, J. L., Duckham, R. L., Milte, C. M., Main, L. C., & Daly, R. M. (2017). Influence of sequential vs. simultaneous dual-task exercise training on cognitive function in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *9*, 1-10. doi:10.3389/fnagi.2017.00368
- Theill, N., Schumacher, V., Adelsberger, R., Martin, M., & Jäncke, L. (2013). Effects of simultaneously performed cognitive and physical training in older adults. *BMC Neuroscience*, *14*, 1-14. doi:10.1186/1471-2202-14-103
- Wadley, V. G., Okonkwo, O., Crowe, M., & Ross-Meadows, L. A. (2008). Mild cognitive impairment and everyday function: Evidence of reduced speed in performing instrumental activities of daily living. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *16*(5), 416-424. doi:10.1097/01.JGP.0000310780.04465.13
- Yokoyama, H., Okazaki, K., Imai, D., Yamashina, Y., Takeda, R., Naghavi, N., ... Miyagawa, T. (2015). The effect of cognitive-motor dual-task training on cognitive function and plasma amyloid  $\beta$  peptide 42/40 ratio in healthy elderly persons: A randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, *15*(1), 1-10. doi:10.1186/s12877-015-0058-4
- Zhu, X., Yin, S., Lang, M., He, R., & Li, J. (2016). The more the better? A meta-analysis on effects of combined cognitive and physical intervention on cognition in healthy older adults. *Ageing Research Reviews*, *31*, 67-79. doi:10.1016/j.arr.2016.07.003

## A Systematic Review and Meta-Analysis of the Effects of Simultaneous Dual-Task Training on Executive Function in Older Adults

Jeun, Yu-Jin<sup>\*</sup>, B.H.Sc., O.T., Park, Jin-Hyuck<sup>\*\*</sup>, Ph.D., O.T.

<sup>\*</sup>Dept. of ICT Convergence, The Graduate School, Soonchunhyang University,  
Master's Course, Student

<sup>\*\*</sup>Dept. of Occupational Therapy, Soonchunhyang University, Professor

**Objective :** The purpose of this study was to analyze the effects of simultaneous dual-task training to assess executive function in older adults.

**Methods :** We searched the PubMed, EMBASE, Cochrane, Web of Science, and RISS databases of published studies in the past decade. Seven studies were selected based on the inclusion and exclusion criteria. Qualitative assessment and meta-analysis were performed for the seven studies.

**Results :** A randomized controlled trial design was used in the selected studies, and PEDro Scores above seven were obtained. The Trial Making Test (TMT) evaluated the effects of dual-task training on executive function in four studies. The Color Trail Test (CTT) was used in two studies, and Stroop test was used in three studies. The effect size for total executive function was 0.38, which was small. The effect sizes for TMT and CTT were 0.37. Stroop Test was 0.34, demonstrating that their effect sizes were also small. Only significant effects in total executive function, TMT, and CTT showed significant effects (all  $p < 0.05$ ).

**Conclusion :** This study confirmed that dual-task training was effective in improving executive function in older adults. To improve the effectiveness of dual-task training, the difficulty of the dual-task training should be considered. It is also necessary to implement assessments that can evaluate performance under dual-task conditions as well as conventional test tools for executive function. In the future, dual-task training could be used as an appropriate intervention for executive function in older adults to delay the onset of dementia.

**Keywords :** Dual-task training, Executive function, Meta-analysis, Older adults