한국심리학회지 : 인지 및 생물
The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology
2018, Vol. 30, No. 1, 53-60
http://dx.doi.org/10.22172/cogbio.2018.30.1.004

〈연구보고〉

기수와 서수 비교의 거리 효과 간 상관 및 수학 성취도와의 관계 분석*

이 하 영　　　조 수 현†
중앙대학교 심리학과

최근 수의 순서 정보가 어떻게 표상되는지에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구는 성인을 대상으로 상징적 숫자와 비상징적 선분을 사용한 순서 비교(Order Comparison, OC) 및 크기 비교(Magnitude Comparison, MC) 과제를 실시하였다. 그리고 각 과제에서 측정한 거리 효과 간 상관관계를 분석하고, 각 거리 효과와 수학 성취도와의 관계성을 검증하였다. 연구 결과, 숫자 OC 과제에서 자극 간 거리가 작을 때 더 효율적인 수행이 관찰되는 역 거리 효과가 나타난 반면, 길이 OC 및 MC 과제에서는 자극 간 거리가 클 때 더 효율적인 수행이 나타나는 고전적 거리 효과가 관찰되었다. 또한, 숫자 OC 과제와 숫자 MC 과제, 길이 OC 과제와 길이 MC 과제, 숫자 OC 과제와 길이 MC 과제의 거리 효과 간 상관관계가 유의하였다. 여러 거리 효과 중에서 숫자 OC 과제의 역 거리 효과만이 수학 성취도를 예측하였다. 본 연구 결과를 선행 연구와 함께 고려하면, 서수와 기수 표상 간에 부분적으로 공유되는 체계가 존재할 가능성이 있으나 수학 성취도에 미치는 영향은 발달 단계 등에 따라 서로 다를 수 있음을 시사한다.

주제어: 서수 표상, 기수 표상, 역 거리 효과, 고전적 거리 효과, 수학 성취도

〈Brief report〉

The Correlation between Distance Effects from Magnitude/Order Comparison and their relationships with math achievement

Hayoung Lee　　　Soohyun Cho
Department of Psychology, Chung-Ang University

There has been growing interest in ordinal representations and their contributions to mathematical cognition. The present study measured distance effects based on magnitude/order comparison (MC/OC, respectively) tasks using symbolic numbers and non-symbolic lines as stimuli. We examined whether distance or reverse distance effects from these tasks are correlated with one another as well as with math achievement. A reverse distance effect (i.e., better performance when the distance between stimuli is smaller) was observed from the Number OC task, while canonical distance effects were observed from the Length OC and MC tasks. There were correlations between distance effects from Number OC and MC tasks, between Length OC and MC tasks and between Number OC and Length MC tasks. Among all, only the reverse distance effect from the Number OC task predicted math achievement scores in a linear regression model. These results suggest that cardinal and ordinal representations may depend on partially shared mechanisms, yet they may independently contribute to math achievement during distinct phases of development.

Key words : ordinality, cardinality, reverse distance effect, canonical distance effect, math achievement

* 이 논문은 한국 연구 재단(NRF-2017R1D1A1B03032115)과 2015년도 중앙대학교 GRS 지원에 의하여 수행되었고, 이하영의 석사학위논문의 데이터 중 일부가 사용되었음.

† 교신저자 : 조수현, 중앙대학교 심리학과, (06974) 서울특별시 동작구 흑석로 84, Email : soohyun@cau.ac.kr

수의 많고 적음을 의미하는 기수(cardinality) 표상과 비교할 때, 순서를 의미하는 서수(ordinality) 표상에 대한 연구는 상대적으로 적다. 최근 들어 서수 표상이 수 인지에서 중요한 역할을 한다는 결과들이 발표됨에 따라 이에 대한 관심이 높아지고 있다(Lyons, Vogel, & Ansari, 2016, Reynvoet & Sasanguie, 2016). 서수와 기수 표상은 각기 수/수량의 크기(magnitude)와 순서를 비교하거나 추정하는 과제를 통해 측정 가능하다. 크기 비교(Magnitude Comparison, MC) 과제에서는 고전적 거리 효과(canonical distance effect)가 관찰되는데, 이는 비교되는 자극 간 거리(차이)가 클 때 반응시간이 빨라지고 정확도가 높아지는 현상을 말한다(Moyer & Landauer, 1967). 반면, 숫자 순서 비교(Order Comparison, OC) 과제를 사용한 대부분의 연구에서는 숫자 간 거리가 작을 때 더 효율적인 수행을 보이는 역 거리 효과(reverse distance effect)가 보고되었다(Franklin & Jonides, 2009; Turconi, Campbell, & Seron, 2006). 한편, 숫자 OC 과제에서 예외적으로 고전적 거리 효과가 발견된 소수의 결과가 존재한다(Turconi et al., 2004; Vogel et al., 2015). 이는 자극의 수, 과제의 특성 혹은 연령대의 차이에 따른 결과일 것으로 추측되고 있으나, 명확한 결론을 내리기 위해서는 더 많은 후속 연구가 요구된다(Lyons, Vogel, & Ansari, 2016).

역 거리 효과의 기제는 명확히 밝혀지지 않았으나, 숫자 OC 과제를 수행할 때 전운동피질(premotor cortex)이 활성화된다고 보고되었다(Lyons & Beilock, 2013). 전운동피질의 활성화는 숫자 OC 과제의 수행이 과학습된(overlearned) 연쇄 자극(i.e., 1, 2, 3, …)을 떠올리는 과정을 수반하기 때문인 것으로 해석되었다(Reynvoet & Sasanguie, 2016). 또한, 숫자 서수 표상과 관련하여 고등한 연산 능력을 담당하는 것으로 알려진 전운동피질이 활성화된 것은 숫자 OC 과제의 수행이 수학 성취도와 유의미한 관계가 있다는 연구 결과들과 일치한다(Goffin & Ansari, 2016; Knops & Willmes, 2014; Lyons et al., 2014).

그러나, 다른 한편에서는 숫자 OC 및 MC 과제의 거리 효과 간 상관관계를 관찰하지 못하여 두 표상 체계가 독립적이라고 주장하기도 한다(Goffin & Ansari, 2016; Lyons & Beilock, 2013; Vogel, Remark, & Ansari, 2015). 이러한 상반된 결과는 OC 및 MC 과제에 사용된 자극의 범위 차이에서 비롯되었을 가능성이 있다. 왜냐하면, 서수와 기수 표상 간 공통적 기제를 주장하는 연구에서는 상대적으로 큰 수와 넓은 범위의 자극 (e.g., 크기: 10-98; 거리: 1-10)을, 독립된 기제를 주장하는 연구에서는 상대적으로 작은 수와 좁은 범위의 자극(e.g., 크기: 1-9; 거리:1-4)을 사용했기 때문이다. 따라서 자극의 범위가 서수와 기수 표상의 관계성에 대한 연구 결과에 영향을 미치는지를 검증할 필요가 있다.

성인을 대상으로 한 서수 표상 연구에서 사용된 자극에는 상징적 자극(e.g., 아라비아 숫자, 월(month), 글자 등) (Franklin & Jonides, 2009; Goffin & Ansari, 2016; Turconi et al., 2006), 비상징적 수량 자극(e.g., 점 집합) (Lyons & Beilock, 2013; Rubinsten, et al., 2013) 및 비상징적, 비수량적인 자극(e.g., 채도, 밝기) 등(Fias et al., 2007; Lyons & Beilock, 2013)이 포함된다. 본 연구에서는 숫자와 함께 지금까지 연구된 바 없는 비상징적이고, 비수량적인 선분을 사용하여 비교 과제를 실시하고, 선행 연구와 비교할 때 더 확장된 자극 범위를 사용하였다. 본 연구의 목표는 숫자와 선분을 이용한 OC 및 MC 과제를 통해 나타난 거리 효과 간에 상관관계가 나타나는지, 각 거리 효과가 수학 성취도를 예측하는지를 검증하는 것이었다. 선행 연구에서 작업 기억이 숫자의 순서 정보 처리에 중요한 역할을 하며(Goffin & Ansari, 2016; Lyons & Beilock, 2013), 억제(inhibition) 능력 역시 수학 성취도와 관계가 있는 것으로 보고되었으므로(Gilmore et al., 2013), 이러한 일반 인지 능력의 영향을 배제하기 위하여 작업 기억, 억제 능력 및 유동 지능의 영향을 통제하였다.

방 법

참가자 대학생 111명이 본 연구에 참여하였고, 이 중 수행이 저조한 2명을 제외한 109명의 데이터가 분석에 사용되었다(여학생: 32명, 평균 21.4세, 표준

편차 ±1.6세; 남학생: 77명, 평균 23.3세, 표준편차 ±2.4세). 참가자들은 실험 시작 전에 모든 절차에 대한 안내를 받고 서면으로 실험 참가에 대해 동의하였으며 실험이 종료된 후 소정의 사례비를 지급 받았다.

검사, 과제 및 절차 거리 효과 측정을 위한 OC 및 MC 과제, 수학 능력 측정을 위한 지필 검사, 유동 지능 검사, 작업 기억 과제 및 억제 능력을 측정하는 과제가 실시되었다. 순서 효과를 방지하기 위하여 모든 과제의 실시 순서는 참가자 간에 역균형화되었다.

순서 비교(OC) 과제. 숫자와 선분이 자극으로 사용되었다. 각 과제에서 화면 중앙에 세 개의 자극이 제시되었다(Figure 1). 참가자는 키보드의 숫자 키패드를 사용하여 세 개의 자극이 일관되게 오름차순 혹은 내림차순으로 배열되었을 경우 5번, 그렇지 않을 경우 2번 키를 누르도록 지시를 받았다. 역균형화를 위하여 참가자 중 절반은 응답 키를 반대로 지시받았다. 10번의 연습 시행 후 210번의 본 시행이 시작되었다. 제시된 자극의 범위는 직산[1] 범위를 제외한 6-40, 인접 자극(i.e., 제시된 세 자극을 크기 순서로 재배열했을 때 나란히 놓이게 되는, 순서 상 가까운 두 자극) 간 거리는 1-10, 인접 자극 간 비율은 0.5-0.95이었다.

크기 비교(MC) 과제. 숫자와 선분이 자극으로 사용되었다. 각 과제에서 화면 중앙에 두 개의 자극이 제시되었다(Figure 1). 참가자는 두 자극 중 왼쪽에 위치한 자극이 더 클 경우 3번, 오른쪽 자극이 더 클 경우 8번 키를 누르도록 지시를 받았다. 6번의 연습 시행 후 210번의 본 시행이 시작되었다. 자극의 범위, 거리, 비율 등은 OC 과제와 동일하였다.

수학 성취도 검사. 한국고용정보원의 고등학생 직업적성검사 중 수리능력 소검사 객관식 사칙연산 25문항(e.g., “A가 B의 40%이라면, B는 A의 몇 %인가?”, “X+(179－7X)=89 일 때 X는?”)이 서면으로 제공되었다(Park et al. 2008). 참가자들은 제한 시간 8분 내에 가능한 한 빠르고 정확하게 문제를 풀도록 지시를 받았다. 과제의 정답 개수를 총점으로 계산하여 종속 변인으로 사용하였다(Jang & Cho, 2016). 수학 성취도 검사의 반분 신뢰도(Spearman-brown coefficient)는 0.91이었다.

유동 지능 검사. 참가자의 유동 지능을 측정하기 위하여 Raven's Advanced Progressive Matrices의 축약형 검사가 사용되었다(Arthur Jr, Tubre, Paul, & Sanchez-Ku, 1999). 회귀분석에서 유동 지능 검사의 정확도를 공변인으로 사용하였다.

작업 기억 과제. 참가자들은 연산 폭 과제(operation span), 회전 폭 과제(rotation span)를 수행하였다(Foster et al., 2015). 연산 폭 과제에서는 화면 중앙에 하나씩 제시되는 알파벳의 순서를 기억하고 재인하는 주 과제와 함께 간단한 암산 식을 푸는 보조 과제가, 회전 폭 과제에서는 길이와 방향이 다른 화살표가 하나씩 제시되는 자극을 순서대로 재인하는 주 과제와 함께 회전된 숫자의 이미지가 거울에 비친 형상인지 아닌지를 판별하는 보조 과

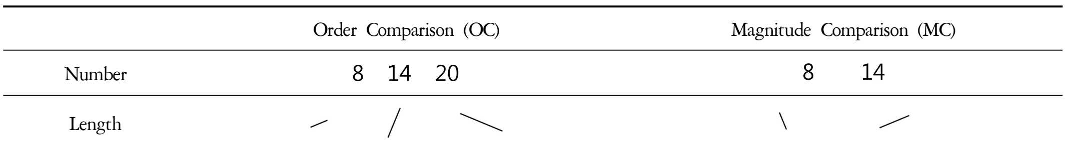

Figure 1. Example trials of the comparison tasks

1) 직산(subitizing): 적은 수량(e.g., 1-4)의 물체들을 하나 하나 세지 않고 한눈에 그 수량을 정확하게 파악하는 인지 과정

제가 교차적으로 실시되었다. 두 가지 주 과제의 정답 개수를 회귀분석의 공변인으로 사용하였다.

억제 과제. 화면 중앙에 빨강색이나 초록색의 화살표가 제시되었다. 참가자는 화살표의 방향과 상관없이 빨간색과 초록색 화살표가 제시될 경우 각기 3번과 8번 키를 누르도록 지시받았다. 또한 제시된 자극이 양방향 화살표이거나 직사각형일 경우, 색깔과 상관없이 반응을 하지 않도록 지시받았다. 역균형화를 위하여 참가자 중 절반은 응답 키를 반대로 지시받았다. 억제 능력을 통제하기 위하여 제시된 화살표와 반응 키의 방향이 일치하는 시행과 일치하지 않는 시행 간 반응 시간 및 정확도의 차이를 회귀분석의 공변인으로 사용하였다.

자료 분석 과제 정확도가 전체 평균으로부터 3표준편차를 벗어나는 참가자는 분석에서 제외되었다. OC 및 MC 과제에서, 거리 10에서의 수행은 숫자 OC 과제에서의 천장 효과로 인하여 전체 분석에서 제외되었다. 거리 효과란, 비교 대상 간의 거리에 따라 수행의 차이가 나타나는 현상을 말한다. 본 연구에서는 거리를 세 구간으로 나누어(i.e., short: 1-3, medium: 4-6, long: 7-9), 각 구간의 평균 거리를 예측 변인으로, 해당 구간의 반응 시간(RT), 정확도(ACC)를 종속 변인으로 하는 회귀분석의 회귀계수(회귀선의 기울기)를 거리 효과로 정의하였다(De Smedt et al., 2009). 또한, 거리 효과(회귀선의 기울기)가 0과 유의미한 차이가 있는지를 알아보기 위해 단일 표본 t검증을 실시하였고(Hoffman et al., 2013), 해당 분석 결과의 t값에 대해 Cohen's d로 효과 크기를 계산하였다. 큰 표본 크기를 고려하여, 분석 결과는 p value와 함께, Cohen's d로 계산한 효과 크기가 .5 이상일 경우에 충분히 큰 효과 크기를 가지는 것으로 해석하였다(Cohen, 1988). OC 과제의 분석에는 오름차순, 내림차순으로 자극이 배열된 시행만이 포함되었다. 일부 거리 효과가 정규성 가정을 위반하였으므로 스피어만 상관 분석을 실시하였다. 상관관계 분석 결과를 토대로 숫자 OC 과제의 수행을 예측 변인으로, 유동 지능 검사 ACC, 두 작업 기억 과제의 점수, 억제 과제 점수를 공변인으로, 수학 성취도 점수를 종속 변인으로 하는 선형 회귀분석을 실시하였다.

결 과

기술 통계 각 과제 수행의 평균 RT 및 ACC(±표준편차)는 다음과 같았다. 숫자 OC: 1059.07ms (±229.39), 0.92(±.07); 길이 OC: 1030.34ms(±236.43), 0.75(±.10); 숫자 MC: 516.87ms(±64.28), 0.94(±.05); 길이 MC: 449.40ms(±74.44), 0.83(±.07).

거리 효과 각 과제에서 측정된 거리효과의 크기는 Table 1.1(regression coefficient)에 제시되어 있다. 각 거리 효과(회귀 계수)가 0과 유의미한 차이가 있는지를 알아보기 위하여 단일 표본 t 검증을 실시한 결과(Table 1.1), 숫자 OC 과제에서는 역 거리 효과($t_{RT}(108)= 8.72$, $p< .01$, Cohen's $d= .84$; $t_{ACC}(108)= -3.26$, $p< .01$, Cohen's $d= -.31$), 길이 OC 과제에서는 고전적 거리 효과가 발견되었다($t_{RT}(108)= -12.55$, $p< .01$, Cohen's $d= -1.20$; $t_{ACC}(108)= 20.17$, $p< .01$, Cohen's $d= 1.93$). 숫자 MC 과제에서는 RT에서만 역 거리 효과가 나타났으며($t_{RT}(108)= 3.49$, $p< .01$, Cohen's $d= .33$), ACC에서는 어떠한 효과도 유의하지 않았다($ps> .05$), 길이 MC 과제에서는 고전적 거리 효과가 나타났다($t_{RT}(108)= -15.86$, $p< .01$, Cohen's $d= -1.52$; $t_{ACC}(108)= 34.46$, $p< .01$, Cohen's $d= 3.30$).

상관분석 모든 OC 및 MC 과제의 거리 효과 간 상관관계를 분석한 결과(Table 1.2), 숫자 OC 및 MC 과제($r_{ACC}(107)= .25$, $p< .01$) 간, 숫자 OC와 길이 MC 과제($r_{RT}(107)= -.20$, $p< .05$) 간, 길이 OC 및 MC 과제($r_{RT}(107)= .32$, $p< .01$) 간에 각기 유의한 상관관계가 발견되었다. 숫자 및 길이 OC 과제 간, 숫자 및 길이 MC 과제 간 상관관계는 유의하지 않았다($ps> .05$). 다음으로, OC 및 MC 과제의 거리 효과가 수학 성취도와 상관관계가 있는지를 검증한 결과(Table 1.2), 숫자 OC 과제 RT에서의 역 거리 효과만이 수학 성취도와 유의한 상관관계가 있었다

Table 1.1. Analysis of distance effects. Distance effects were calculated as the regression coefficients using distance as predictor and task performance (RT or ACC) as the dependent variable. T tests were conducted to test whether the regression coefficient was different from 0. Numbers in parentheses denote standard deviations.

	RT			ACC		
	regression coefficient	t	d	regression coefficient	t	d
Number OC	14.92(±17.87)	8.72**	.84	.00(±.01)	-3.26**	-.31
Length OC	-20.32(±16.91)	-12.55**	-1.20	.04(±.02)	20.17**	1.93
Number MC	1.07(±3.21)	3.49**	.33	-.00(±.01)	-1.27	-.12
Length MC	-8.42(±5.54)	-15.86**	-1.52	.04(±.01)	-1.52**	3.30

Table 1.2. Correlations between math achievement scores and distance effects from RT(A) and ACC(B).

A. Correlations between distance effects measured from RTs and math achievement scores

	Number OC	Length OC	Number MC	Length MC	Math Achievement
Number OC	-	.034	-.003	-.199*	-.194*
Length OC		-	-.076	.318**	-.139
Number MC			-	-.153	-.003
Length MC				-	-.056
Math Achievement					-

B. Correlations between distance effects measured from ACCs and math achievement scores

	Number OC	Length OC	Number MC	Length MC	Math Achievement
Number OC	-	.027	.252**	.030	.109
Length OC		-	.136	-.031	-.032
Number MC			-	-.087	.139
Length MC				-	.018
Math Achievement					-

* $p < .05$, ** $p < .01$.

($r_{RT}(107) = -.19$, $p < .05$). 숫자 MC 과제의 거리 효과와 수학 성취도 간 상관은 유의하지 않았다($p > .05$).

회귀분석 수학 성취도와 유의한 상관관계가 있었던 숫자 OC 과제의 수행을 예측 변인으로, 유동 지능 ACC, 두 작업 기억 점수, 억제 과제 점수들을 공변인으로, 수학 성취도 점수를 종속 변인으로 투입하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 숫자 OC 과제의 역 거리 효과가 수학 성취도를 유의하게 예측하였다($R^2 = .16$, $F(6,100) = 3.24$, $p < .01$, $\beta_{RT} = -.23$, $p < .05$).

논 의

본 연구는 성인을 대상으로 하여 OC 및 MC 과제의 자극 종류와 범위를 달리하였을 때 거리 효과가 나타나는지, 과제 별 거리 효과가 상호 간 및 수학 성취도와 상관관계가 있는지를 검증하였다. 연구 결과, 숫자 OC 과제의 역 거리 효과, 길이 OC 및 MC 과제의 고전적 거리 효과가 유의미하며, 충분히 큰 효과 크기를 가지는 것으로 나타났다. 이는 상징적 자극과 비상징적인 자극이 순서 처리를 할 때 상이한 행동적 효과를 보인다는 선행 연구 결과와 일치한다(Franklin & Jonides, 2009; Goffin & Ansari, 2016; Lyons & Beilock, 2013; Reynvoet & Sasanguie, 2016; Turconi et al., 2006). 숫자 MC 과제에서도 역 거리 효과를 관찰하였으나, 작은 효과 크기를 감안하였을 때 이는 큰 표본을 사용한 데에 따른 인위적 결과일 가능성이 높다. 또한, 본 연구에서는 기존에 다루어지지 않았던 거리 10에서의 특징적 수행 패턴을 발견하였다. 숫자 OC 과제를 수행할 때, 참가자들은 거리 10에서 거리 1과 유사할 정도의 빠른 RT를 보였다. 이를 통해 1이나 10의 거리를 가진 자극들 간 순서를 판단(e.g., 22 vs. 32) 하는 과정은 숫자의 자리(1 또는 10의 자리)와 무관하게 효율적으로 이루어짐을 알 수 있다.

본 연구에서는 선행 연구와 비교하여 상대적으로 넓은 자극 범위를 사용하여 숫자 OC 및 MC 과제의 역 거리 효과 간 상관관계와 길이 OC 및 MC 과제의 고전적 거리 효과 간 상관관계를 관찰하였다. 동일한 자극을 사용한 OC 및 MC 과제의 거리 효과 간 상관관계는 서수와 기수 표상 간 공통의 표상/처리 기제가 존재한다는 선행 연구를 지지한다(Fias et al., 2007; Franklin & Jonides, 2009). 이는 선행 연구에서 OC 및 MC 과제의 거리 효과의 크기 간 상관관계가 연구 간에 일치하지 않았던 결과에 자극 범위의 차이가 영향을 미쳤을 가능성을 뒷받침한다. 즉, 본 연구와 선행 연구 결과를 종합하면, 상대적으로 큰 수와 넓은 자극 범위(e.g., 크기: 6-40; 거리: 1-10)를 사용하는 비교 과제의 경우 서수와 기수 표상 간 상관관계가 나타나지만, 상대적으로 작은 수와 좁은 자극 범위(e.g., 크기: 1-9; 거리:1-4)를 사용하는 경우 두 표상 간 상관이 나타나지 않는 것으로 보인다. 길이 MC 및 숫자 OC 과제의 RT 거리 효과 간에는 부적 상관관계가 나타났는데, 이는 길이 MC 과제에서 부적으로 큰 회귀 계수(i.e., 큰 고전적 거리 효과)를 보인 참가자가 숫자 OC 과제에서 정적으로 큰 회귀 계수(i.e., 큰 역 거리 효과)를 보였기 때문이다. 마찬가지로 길이 OC 및 MC 과제의 RT 거리 효과 간에 나타난 정적 상관관계는 길이 OC 과제에서 부적으로 큰 회귀 계수를 보인 참가자가 길이 MC 과제에서도 부적으로 큰 회귀 계수를 보였음을 의미한다. 또한, 본 연구에서 길이 MC 과제의 거리 효과가 숫자 OC 과제와 유의한 상관을 나타낸 것은 기수 표상 기제가 서수 표상의 기초가 되며, 순서 정보가 대략적 크기 표상으로부터 도출된다는 선행 연구 가설을 뒷받침한다(Lyons, Vogel, & Ansari, 2016). 특히나 선분은 숫자와 달리 학습을 필요로 하지 않는 비상징적, 비수량적 자극으로서, 본 연구에서도 길이 MC 과제는 가장 빠른 RT을 나타냈다. 따라서 길이 MC 과제의 수행이 두 OC 과제의 수행과 모두 상관관계가 있었던 결과는 선분 길이 표상이 기초적 기수 표상으로서 서수 표상의 기초가 되는 것으로 해석할 수 있다.

본 연구에서 숫자 OC 과제에서의 역 거리 효과가 작을수록 수학 성취도가 높았던 회귀분석 결과는 선행 연구와 일치한다(Goffin & Ansari, 2016; Knops & Willmes, 2014; Lyons et al., 2014). 초등학교 1-6학년을 대상으로 한 선행 연구에서도 이와 같은 현상이 고학년으로 갈수록 더 두드러지게 나타났다 (Lyons et al., 2014). 선행 연구와 본 연구의 결과를 함께 고려하면, 숫자 서수 표상의 정확도와 수학 성취도와의 관계는 아동기 동안 점차 강해지며 성인기에도 유지되는 것으로 해석될 수 있다. 이러한 연구 결과는, 5 이상 큰 숫자의 의미는 숫자들 간의 순서에 입각한 관계성을 통해 습득된다는 주장과도 연결된다(Reynvoet & Sasanguie, 2016). 한편, 본 연구에서 숫자 MC 과제 수행과 수학 성취도 간에 유의미한 상관이 나타나지 않은 것은 숫자 MC 과

제에서 천장 효과가 나타났기 때문일 가능성이 높으며, 연령이 높아질수록 기수 표상보다는 서수 표상이 고등한 연산 능력에 더 크게 기여한다는 주장을 뒷받침한다(Lyons et al., 2016).

본 연구는 비상징적 자극과는 달리 숫자의 순서 비교 시에만 역 거리 효과가 나타남을 관찰하였다. 동일한 자극을 사용한 비교 과제의 거리 효과 간 상관관계는 서수와 기수 표상 간에 부분적으로 공유되는 기제가 존재할 가능성을 시사한다. 또한 숫자 OC 과제에서의 거리 효과가 수학 성취도를 예측한 회귀분석 결과는 숫자 서수 표상의 정확도가 고등한 수학 능력의 기초가 될 가능성을 뒷받침한다. 숫자 서수 비교 시에 나타나는 역 거리 효과의 기전과 숫자 서수 표상이 수학적 인지 발달에 구체적으로 어떻게 기여하는지를 밝히는 것이 후속 연구의 중요한 과제라 할 수 있다.

References

Arthur Jr, W., Tubre, T. C., Paul, D. S., & Sanchez-Ku, M. L. (1999). College-sample psychometric and normative data on a short form of the Raven Advanced Progressive Matrices Test. *Journal of Psychoeducational Assessment, 17*(4), 354-361.

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hilsdale. *NJ: Lawrence Earlbaum Associates, 2.*

De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of experimental child psychology, 103*(4), 469-479.

Fias, W., Lammertyn, J., Caessens, B., & Orban, G. A. (2007). Processing of abstract ordinal knowledge in the horizontal segment of the intraparietal sulcus. *Journal of Neuroscience, 27*(33), 8952-8956.

Foster, J. L., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2015). Shortened complex span tasks can reliably measure working memory capacity. *Memory & cognition, 43*(2), 226-236.

Franklin, M. S., & Jonides, J. (2009). Order and magnitude share a common representation in parietal cortex. *Journal of cognitive neuroscience, 21*(11), 2114-2120.

Gilmore, C., Attridge, N., Clayton, S., Cragg, L., Johnson, S., Marlow, N.,... Inglis, M. (2013). Individual differences in inhibitory control, not non-verbal number acuity, correlate with mathematics achievement. *PloS one, 8*(6), e67374.

Goffin, C., & Ansari, D. (2016). Beyond magnitude: Judging ordinality of symbolic number is unrelated to magnitude comparison and independently relates to individual differences in arithmetic. *Cognition, 150*, 68-76.

Hoffmann, D., Hornung, C., Martin, R., & Schiltz, C. (2013). Developing number-space associations: SNARC effects using a color discrimination task in 5-year-olds. *Journal of experimental child psychology, 116*(4), 775-791.

Jang, S., & Cho, S. (2016). The acuity for numerosity (but not continuous magnitude) discrimination correlates with quantitative problem solving but not routinized arithmetic. *Current Psychology, 35*(1), 44-56.

Knops, A., & Willmes, K. (2014). Numerical ordering and symbolic arithmetic share frontal and parietal circuits in the right hemisphere. *Neuroimage, 84*, 786-795.

Lyons, I., Vogel, S., & Ansari, D. (2016). On the ordinality of numbers: a review of neural and behavioral studies. *Progress in brain research, 227*, 187-221.

Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2013). Ordinality and the nature of symbolic numbers. *Journal of Neuroscience, 33*(43), 17052-17061.

Lyons, I. M., Price, G. R., Vaessen, A., Blomert, L., & Ansari, D. (2014). Numerical predictors of arithmetic success in grades 1-6. *Developmental Science, 17*(5), 714-726.

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature, 215*(5109), 1519-1520.

Park, K., Lee, H., Im, H. (2008). *Test equating of paper-based and computer-based versions of the Korean Job Aptitude Scale for Adults*. Seoul: Korea Employment Information Service.

Reynvoet, B., & Sasanguie, D. (2016). The Symbol Grounding Problem Revisited: A Thorough Evaluation of the ANS Mapping Account and the Proposal of an Alternative Account Based on Symbol-Symbol Associations. *Frontiers in Psychology, 7*.

Rubinsten, O., Dana, S., Lavro, D., & Berger, A. (2013). Processing ordinality and quantity: ERP evidence of separate mechanisms. *Brain and cognition, 82*(2), 201-212.

Turconi, E., Campbell, J. I., & Seron, X. (2006). Numerical order and quantity processing in number comparison. *Cognition, 98*(3), 273-285.

Vogel, S. E., Remark, A., & Ansari, D. (2015). Differential processing of symbolic numerical magnitude and order in first-grade children. *Journal of experimental child psychology, 129*, 26-39.

1 차원고접수 : 2017. 10. 08
수정원고접수 : 2017. 11. 24
최종게재결정 : 2017. 11. 25