한국심리학회지 : 인지 및 생물 http://dx.doi.org/10.22172/cogbio.2017.29.2.004
The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology
2017, Vol. 29, No. 2, 165-172

〈연구보고〉

아동의 수 직선 추정의 정확도와 수학 성취도 간의 관계에 대한 숫자 비교 능력의 매개 효과*

김 나 래 조 수 현†
중앙대학교 심리학과

숫자를 이용한 수학적 문제 해결 능력이 어떠한 요인에 의해 영향을 받고 어떠한 기전에 의해 발달하는 것인가에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 본 연구에서는 매개 분석을 통해 아동의 수학 성취도에 기여하는 것으로 보고된 여러 기초 수 인지 능력들이 어떠한 기전을 통해 수학성취도에 기여하는지를 밝히고자 하였다. 본 연구에서 측정한 기초 수 인지 능력에는 수 추정 능력, 숫자 처리 능력, 수량 비교 능력이 포함되었다. 매개 분석 결과, 수 추정 과제를 통해 측정한 수 표상의 정확도가 높을수록 숫자의 의미 정보를 효율적으로 처리할 수 있게 되어, 수학 성취도가 높아짐을 확인하였다. 이러한 결과는, 수학 학습 장애 아동에게 먼저 내적 수 표상의 정확도를 높이는 훈련을 실시한 후, 숫자의 의미를 빠르고 정확하게 처리하는 연습을 시키는 단계적 개입이 수학성취도 향상에 도움이 될 가능성을 시사한다.

주제어 : 내적 수 표상, 수 직선 추정, 숫자 비교, 수량 비교, 수학성취도, 매개 분석

〈Brief report〉

Number Comparison Efficiency Mediates the Relationship between the Precision of Numberline Estimation and Math Achievement in Children

Narae Kim Soohyun Cho
Department of Psychology, Chung-Ang University

Many studies are being conducted to understand factors that influence mathematical problem solving ability and the mechanism through which it develops. The present study conducted mediation analysis to examine which basic numerical cognitive abilities contribute to math achievement and whether there is a mediating factor in this relationship. The present study measured the precision of number estimation, number processing ability, numerosity comparison ability as basic numerical cognitive abilities. As a result of the mediation analysis, we found that number comparison efficiency mediates the relationship between the precision of the internal number representation (measured with number estimation) and math achievement. This finding suggests the possibility that a stepwise intervention of first improving the precision of the internal number representation and then training to efficiently process symbolic numbers will contribute to the enhancement of math achievement in children with mathematical disabilities.

Key words : mental number representation, numberline estimation, number comparison, numerosity comparison, math achievement, mediation analysis

* 이 논문은 2015년도 중앙대학교 연구장학기금 지원에 의한 것임.
† 교신저자 : 조수현, 중앙대학교 심리학과, (06974) 서울특별시 동작구 흑석로 84
Email: soohyun@cau.ac.kr

www.kci.go.kr

인간이 수를 처리할 수 있는 능력은 일상생활뿐 아니라, 현대사회에서 직업 생활을 영위하고 경제 활동을 하는 데에 필요 불가결한 능력이다. 인지 심리학자들은 아동이 상징적 수(symbolic number; 예를 들어, 아라비아 숫자나 수를 의미하는 단어)의 의미를 배우고 이를 이용한 문제 해결 등 수학적 정보처리를 가능케 하는 인지 발달의 기전이 무엇인지에 대하여 많은 관심을 기울여왔다. 여러 선행 연구에서 수학 성취도에 영향을 미치는 기초적인 수 인지 능력으로 수량(numerosity)의 많고 적음에 대한 정확한 추정(estimation) 및 비교 능력, 상징적 수의 의미적 크기(magnitude)에 대한 정확하고 빠른 이해 능력 등을 보고하고 있다(Booth & Siegler, 2008; Rousselle & Noël, 2007; Sasanguie, De Smedt, Defever, & Reynvoet, 2012). 이 중 가장 유력한 이론에 의하면, 아동이 숫자의 의미를 처음 학습할 때에는, 숫자를 '내적 수 표상(mental number representation)'에 대응시키는 과정을 거친다고 한다(Barth, La Mont, Lipton, & Spelke, 2005; Brannon, 2006; Dehaene, 2007). 내적 수 표상은 말 그대로, 수의 상대적 많고 적음에 대한 심리적 표상을 의미하며, 보편적으로 왼쪽에는 작은 수가, 오른쪽에는 큰 수가 자리잡은 직선 형태를 지닌다. 그러한 의미로 이를 '내적 수 직선(mental numberline)'이라고도 표현하며, 내적 수 표상을 활용한 기초적인 수의 추정 및 변별 능력을 '대략적 수 감각(approximate number sense; 이하 수 감각)'이라고 한다. 수 감각은 인간과 동물이 공유하는 타고난 인지적 기제로서, 예를 들어, 물고기가 공격을 피하기 위해 되도록 더 많은 수의 물고기 떼에 속하려 하는 본능적 행동의 기반이 된다. 수 감각의 민감도는 보통 두 가지 수량 중 어느 쪽이 더 많은 지를 변별하는 과제에서, 정확하게 구별 가능한 두 수량 간의 비율(이른바, 베버 비율)로 측정할 수 있다(Halberda, Mazzocco, & Feigenson, 2008). 예를 들어, 갓 태어난 아기의 베버 비율은 1:3인데, 이는 두 자극의 수량이 세 배 이상 차이가 나야 자극 간 많고 적음을 구별할 수 있음을 의미한다. 사람의 수 감각은 발달이 진행됨에 따라 점차 민감도가 높아져 아동기에는 5:6에서 6:7, 성인기에 이르면 9:10 혹은 10:11에 이르게 된다(Halberda & Feigenson, 2008; Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, 2004). 많은 선행 연구에서 두정엽 특히 두정내구(intraparietal sulcus) 영역에서 수 감각의 인지 신경과학적 기반으로 해석할 수 있는 활동성이 관찰된다고 보고되었다(Nieder & Dehaene, 2009; Piazza, Izard, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 2004; Piazza, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 2007).

아동의 내적 수 표상의 정확도에는 개인차가 매우 크며, 내적 수 표상이 정확할수록 수학 성취도가 높다는 상관관계가 일관되게 보고되고 있다(Booth & Siegler, 2006, 2008; Halberda et al., 2008; Halberda & Feigenson, 2008; Libertus, Feigenson, & Halberda, 2011; Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011; Siegler & Booth, 2004). 내적 수 표상의 정확도는 주로 '수 직선 추정(Numberline Estimation)' 과제를 사용하여 측정한다(Sasanguie, Göbel, Moll, Smets, & Reynvoet, 2013; Siegler, & Opfer, 2003). 수직선 추정 과제는 제시된 숫자 혹은 수량 자극의 의미적 크기를 수 직선 상의 위치에 대응시키는 과제로서, 피험자가 추정한 위치와 정답에 해당하는 위치 간의 거리가 작을수록 내적 수 표상이 정확함을 의미한다.

내적 수 표상의 정확도 외에도 숫자의 효

www.kci.go.kr

율적 처리, 즉, 숫자의 의미적 크기를 빠르고 정확하게 이해하는 능력 또한 아동의 수학 성취의 기반으로 보고되고 있다(Guillaume & Gevers, 2016; Holloway & Ansari, 2009; Rousselle & Noël, 2007; Sasanguie et al., 2013). 숫자의 효율적 처리는 주로 두 개의 숫자를 비교하는 '숫자 비교' 과제를 사용하여 측정한다(Durand, Hulme, Larkin, & Snowling, 2005; Guillaume & Gevers, 2016; Sasanguie et al., 2013). 숫자 비교의 반응시간(reaction time, RT)이 빠를수록 내적 수 표상에 효율적으로 접근한다고 해석할 수 있다(Rousselle & Noël, 2007). 숫자 비교의 RT는 다른 기초 수 인지 능력과 비교하여 상대적으로 수학성취도를 더 잘 예측한다고 보고되었다(Guillaume & Gevers, 2016; Holloway & Ansari, 2009; Sasanguie et al., 2013). 이는 아동이 숫자에 대응되는 내적 수 표상에 효율적으로 접근하지 못할 경우 수학 성취도가 저하될 수 있다는 Access Deficit 이론과 일맥상통한다(Rousselle & Noël, 2007, Sasanguie et al., 2012, Sasanguie et al., 2013).

본 연구는 앞서 소개한 두 이론에 기반하여, 다음과 같은 매개 효과가 유의할 것으로 예측하였다. 즉, 1) 아동이 숫자의 의미를 처음 학습할 때, 숫자를 내적 수 표상에 대응시킨다는 이론과 2) 숫자에 대응되는 내적 수 표상에 효율적으로 접근하는 능력이 수학 성취도와 밀접한 관계가 있다는 Access Deficit 이론에 기반하여, 숫자 비교 수행이 수 직선 추정 과제의 수행과 수학성취도 간의 관계를 매개할 것으로 예측하였다.

본 연구의 목표는 선행연구에서 이루어진 기초 수 인지(수 추정, 수량 변별, 숫자 비교) 능력과 수학성취도 간의 상관 및 회귀 분석에서 더 나아가 매개 관계를 분석함으로써 아동의 수학성취도에 영향을 미치는 요인들 간의 관계에 대한 더 심도 있는 모형을 제시하고 그에 따른 교육적 시시점을 제공하는 것이다.

방 법

참가자 서울과 경기도에 거주하는 초등학교 1학년 학생들이 연구에 참여하였다(n=45, 여학생: 23명, 평균 7.51세, 표준편차 ±0.30). 모든 아동과 보호자들은 연구 참여에 앞서 모든 절차에 대한 충분한 설명을 듣고 동의서에 서명하였다. 연구 종료 이후 소정의 사례비가 지급되었다.

검사, 과제 및 절차 모든 검사와 실험은 검사자가 아동의 자택에 방문하여 조용한 방에서 1 대 1로 진행되었다. 본 연구에서는 내적 수표상의 정확도를 측정하기 위한 수 직선 추정(Numberline Estimation) 과제, 비상징적 수량 비교 능력을 측정하기 위한 수량 비교(Numerosity Comparison) 과제, 숫자의 의미적 크기 처리 능력을 측정하기 위한 숫자 비교(Number Comparison) 과제, 유동 지능 검사 및 수학 성취도 검사가 실시되었다. 순서 효과를 방지하기 위해 모든 검사 및 과제의 실시 순서는 무선화되었다. 총 실험 시간은 약 60분 정도였다.

수 직선 추정 과제. 본 과제에서는 화면의 중앙에 점 집합 혹은 숫자가 제시되고, 아래에는 수직선이 제시되었다(Figure 1). 수직선의 양 끝에는 각각 0과 200, 중앙에는 100이라고 표시되어 있었다. 피험자는 제시된 숫자의 의미적 크기 혹은 점의 수량에 대응되는 수 직선 상의 상대적 위치를 클릭하도록 지시받았

www.kci.go.kr

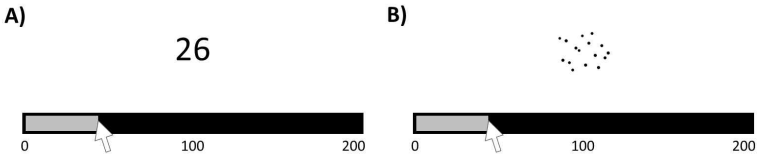

Figure 1. An example trial of the A) Symbolic Numberline Estimation and B) Nonsymbolic Numberline Estimation tasks.

다. 과제는 자극의 종류(숫자 혹은 점 집합)에 따라 두 블록으로 나뉘어 시행되었다. 숫자와 점 집합이 제시되는 수 직선 추정 과제는 각기 상징적 수 직선 추정(Symbolic Numberline Estimation, Figure 1A), 비상징적 수 직선 추정(Nonsymbolic Numberline Estimation, Figure 1B) 과제로 명명하였다. 제시된 수(량)의 범위는 0부터 200까지(5, 18, 42, 78, 111, 133, 147, 172, 187)였다. 네 번의 연습 시행 이후 27개의 본 시행(9개의 자극이 3번 반복)이 실시되었다. 자극의 제시 순서는 무선화하되 같은 자극이 연달아 제시되지 않도록 통제되었다. 내적 수 표상의 정확도를 측정하기 위해, 종속 변인으로 추정 오차(Percent Absolute Error; PAE; Siegler & Booth, 2004)를 계산하였다. 추정 오차는 피험자의 추정치와 정답 간의 차이를 수직선의 범위(200)로 나눈 절대값으로 계산하였다.

숫자 비교 과제. 본 과제는 화면의 중앙을 기준으로 좌우에 하나씩 제시되는 두 숫자 중 더 큰 숫자를 선택하는 과제로서, 피험자들은 더 큰 숫자가 왼쪽에 제시되었으면 3번 키를, 오른쪽에 제시되었으면 8번 키를 누르도록 지시받았다. 숫자의 범위는 2부터 9까지였다.

수량 비교 과제. 본 과제는 화면의 중앙을 기준으로 좌우에 하나씩 제시되는 두 점 집합 중 점의 수량이 더 많은 집합을 선택하는 과제로서, 피험자들은 왼쪽 점 집합의 수량이 더 많아 보일 경우 3번 키를, 오른쪽 점 집합의 수량이 더 많아 보일 경우 8번 키를 누르도록 지시받았다. 수량의 범위는 6~100이었다. 난이도는 점의 수량 간 비율(1:2, 3:4, 5:6, 7:8, 8:9)로 조절되었다. 다섯 번의 연습 시행 후, 총 120개의 본 시행(비율 당 5개의 시행이 4번 반복)이 실시되었다. 자극의 제시 순서는 무선화되었다. 점의 수량이 아닌 총면적이나 점의 평균 크기 등 기타 시각적 특성의 영향을 통제하기 위해, 선행 연구에서 사용된 자극 디자인과 실험 절차에 따라 총면적 통제 조건, 점 크기 통제 조건을 고안하여 무선적인 순서로 제시하였다(자세한 방법 기술은 Halberda & Feigenson, 2008; Jang & Cho, 2016; Lee & Cho, (in press); Park & Cho, (in press) 참조).

수학 성취도 검사. 아동의 종합적인 수학 능력을 측정하기 위하여 국내 아동들을 대상으로 표준화된 KISE-BAAT(Park, Kim, Song, Jeong, & Jeong, 2008)를 실시하였다. 본 검사는 수 개념, 문제 해결 능력, 도형, 연산 등 복합적인 수학 능력을 측정할 수 있도록 여러 하위 검사로 구성되어 있다. 분석에는 각 하위 검사의 연령에 따른 환산점수를 합산하여 사용하였다.

www.kci.go.kr

유동 지능 검사. 유동 지능의 영향을 통제하기 위하여 Raven's Advanced Progressive Matrices 축약형 검사를 실시하였다(Arthur Jr, Tubre, Paul, & Sanchez-Ku, 1999).

결 과

기술통계 각 과제의 평균 점수(표준편차)는 다음과 같았다. 비상징적 수 직선 추정의 평균 오차는 .15(.04), 상징적 수 직선 추정의 평균 오차는 .07(.03)이었다. 수량 비교 과제의 평균 정확도는 .73(.09), 평균 RT는 1538.09 (267.15)ms이었고, 숫자 비교 과제의 평균 정확도는 .93(.09), 평균 RT는 1402.41(513.06)ms 이었다. 수학성취도의 평균 점수는 41(10.5)점 이었다.

편상관 분석 유동 지능의 영향을 통제한 상태에서 모든 측정치 쌍 간의 상호관계성을 관찰하기 위해 편상관 분석을 실시하였다. 상징적 수 직선 추정의 오차는 수학성취도(r=-.38, p=.02)와 숫자 비교 RT(r=.43, p=.005)와 각기 유의한 상관관계가 있었다. 비상징적 수 직선 추정의 오차는 수학성취도(r=-.35, p=.03) 및 수량 비교의 정확도(r=-.40, p=.01)와 유의한 상관관계가 있었고, 숫자 비교 RT와는 상관관계의 경향성이 있었다(r=.30, p=.06). 또한, 숫자 비교 RT와 수학성취도 간에 유의한 상관관계가 있었다(r=-.47, p=.01). 그 외의 모든 상관관계는 유의하지 않았다(ps >.05). 특히, 숫자 비교의 정확도와 수량 비교의 RT는 어떤 변수와도 유의한 상관이 나타나지 않아 매개 분석에서는 제외되었다. 또한, 수량 비교와 숫자 비교 과제에서 '속도-정확도 교환 관계(speed-accuracy trade-off)'가 없음을 확인하였다.

매개분석 숫자 비교 RT가 수 직선 추정 과제의 오차와 수학성취도 간의 관계를 매개하는지를 검증하기 위해 매개 분석(Mediation Analysis)을 실시하였다. 표본의 수가 많지 않음을 고려하여 붓스트랩핑(Bootstrapping) 기법(재추출 5000회, 95% 신뢰구간)을 사용하였고 (Preacher & Hayes, 2008), 유동지능의 영향을 통제하기 위해 레이븐 검사 점수를 공변인으로 투입하였다. 예비 분석에서 상징적, 비상징적 수 직선 추정 과제를 개별적으로 분석하였으나 동일한 패턴의 매개 분석 결과가 확인되어, 본 분석에서는 두 과제의 자료를 합쳐서 분석하였다. 수 직선 추정의 오차는 수학 성취도를 유의하게 예측하였다(β=-.28, p=.02; Figure 2). 이 모형에, 숫자 비교 RT를 매개 변인으로 투입하자, 수 직선 추정의 오차와 수학성취도 간의 직접 경로의 설명력이 사라지고(β=-.16, n.s.; Figure 2), 95% 신뢰구간에서 숫자 비교 RT의 매개를 통한 간접 효과만이 유의하였다(β=-.12, 95% CI [-.38, -.01]; Figure 2). 즉, 수 직선 추정의 오차와 수학성취도 간의 관계를 숫자 비교 RT가 완전 매개하였다.

위와 동일한 분석을 수량 비교 수행을 매개

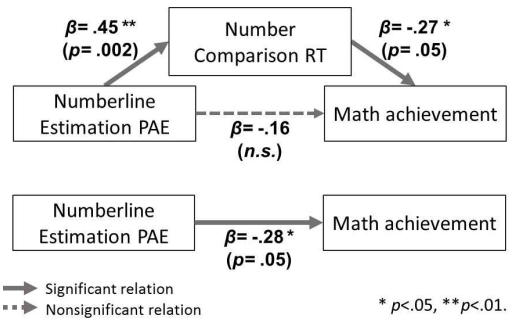

Figure 2. Number Comparison RT fully mediates the relationship between the precision of Numberline Estimation and math achievement.

www.kci.go.kr

변인으로 하여 실시하였으나, 유의한 효과가 관찰되지 않았다(p >.05). 또한, 숫자 비교 수행을 독립 변인으로, 수 직선 추정의 오차를 매개 변인으로 투입하여 수학성취도를 예측하는 동일한 분석을 실시하였을 때에도 유의한 매개 효과가 관찰되지 않았다(p >.05).

논 의

본 연구는 숫자를 이용한 문제해결 능력의 습득에 기여하는 기초 수 인지 능력과 그들 간의 상호관계 및 매개 관계를 밝히고자 하였다. 유력한 이론에 의하면, 아동이 숫자의 의미를 처음 학습할 때에, 숫자를 내적 수 표상에 대응시키는 과정을 거친다고 한다(Barth et al., 2005; Brannon, 2006; Dehaene, 2007). 본 연구는 선행 연구에서 보고된 상관관계나 회귀분석 결과를 넘어서 매개 분석을 통해 내적 수 표상이 정확한 아동이, 숫자의 의미를 효율적으로 처리함으로써 수학 성취도가 높아짐을 확인시켜 주었다. 이러한 결과는 숫자의 의미적 크기를 이해하는 과정 즉, 숫자에 대응되는 내적 수 표상에 효율적으로 접근하지 못할 경우 수학 성취도가 저하될 수 있다는 Rousselle & Noël(2007)의 Access Deficit 이론을 뒷받침하며, 숫자 비교 수행이 다른 기초 수 인지 능력보다 수학성취도를 더 잘 예측한다는 선행 연구 결과와 일치한다(Guillaume & Gevers, 2016; Holloway & Ansari, 2009; Sasanguie et al., 2013). 본 연구는 선행 연구의 상관 및 회귀 분석 결과에서 더 나아가 내적 수 표상의 정확도가 수학성취도에 기여하는 과정에서, 숫자의 의미에 대한 효율적인 처리 능력이 매개변인으로 작용한다는 더 정교화된 모형을 제시한다. 한편, 수량 비교 과제의 수행을 이용한 동일한 매개 분석에서 유의한 결과가 나타나지 않은 것은, 수학성취도 향상에 기여하는 핵심적인 중간 단계는 내적 수 표상의 정확도가 (비상징적인 수량이 아닌) 상징적 숫자 정보처리의 효율성을 높이는 과정임을 더욱 분명하게 드러낸다. 이러한 결과는 학습 장애 아동의 수학 성취도를 높일 수 있는 방안으로, 일차적으로는 내적 표상의 정확도를 높일 수 있는 훈련을, 이차적으로는 상징적 숫자의 의미를 효율적으로 처리할 수 있는 연습을 실시하는 단계적 접근이 효과적일 가능성을 시사한다. 단, 본 연구는 초등학생의 수학 성취도에 영향을 줄 수 있는 모든 변인을 고려한 것이 아니므로, 후속 연구에서는 숫자의 순서(ordinality)나 수를 의미하는 단어(number word)의 학습 등의 요인도 함께 연구될 필요가 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*, 354-361.

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., & Spelke, E. S. (2005). Abstract number and arithmetic in preschool children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*, 14116-14121.

Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology, 42*, 189.

www.kci.go.kr

Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development, 79*, 1016-1031.

Brannon, E. M. (2006). The representation of numerical magnitude. *Current Opinion in Neurobiology, 16*, 222-229.

Dehaene, S. (2007). Symbols and quantities in parietal cortex: Elements of a mathematical theory of number representation and manipulation. In P. Haggard & Y. Rossetti (Eds.), *Attention & performance XXII. Sensori-motor foundations of higher cognition* (pp. 527-574). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Durand, M., Hulme, C., Larkin, R., & Snowling, M. (2005). The cognitive foundations of reading and arithmetic skills in 7-to 10-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, *91*, 113-136.

Guillaume, M., & Gevers, W. (2016). Assessing the Approximate Number System: no relation between numerical comparison and estimation tasks. *Psychological Research, 80*, 248-258.

Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology, 44*, 1457-1465.

Halberda, J., Mazzocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature, 455*, 665-668.

Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*, 17-29.

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*, 44-56.

Lee, K., & Cho, S. (in press). Magnitude processing and complex calculation is negatively impacted by mathematics anxiety while retrieval based simple calculation is not. *International Journal of Psychology*. doi:10.1002/ijop.12412

Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental Science, 14*, 1292-1300.

Mazzocco, M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. *PLoS ONE, 6*, e23749.

Mussolin, C., De Volder, A., Grandin, C., Schlögel, X., Nassogne, M.-C., & Noël, M.-P. (2010). Neural correlates of symbolic number comparison in developmental dyscalculia. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*, 860-874.

Nieder, A., & Dehaene, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, *32*, 185-208.

Park, Y., & Cho, S. (in press). Developmental changes in the relationship between magnitude acuities and mathematical achievement in

www.kci.go.kr

elementary school children. *Educational Psychology*, 1-15. doi:10.1080/01443410.2015.1127332

Park, K., Kim, K., Song, Y., Jeong, D., & Jeong, I. (2008). *KISE-Basic Academic Achievement Tests (KISE-BAAT).* Ansan: Korea National Institute for Special Education.

Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron*, *44*, 547-555.

Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2007). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron*, *53*, 293-305.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, *306*, 499-503.

Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods, 40*, 879-891.

Rousselle, L., & Noël, M. -P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition, 102*, 361-395.

Sasanguie, D., De Smedt, B., Defever, E., & Reynvoet, B. (2012). Association between basic numerical abilities and mathematics achievement. *British Journal of Developmental Psychology, 30*, 344-357.

Sasanguie, D., Göbel, S. M., Moll, K., Smets, K., & Reynvoet, B. (2013). Approximate number sense, symbolic number processing, or number-space mappings: What underlies mathematics achievement?. *Journal of Experimental Child Psychology, 114*, 418-431.

Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development, 75*, 428-444.

Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science, 14*, 237-250.

1 차원고접수 : 2017. 02. 17
수정원고접수 : 2017. 02. 23
최종게재결정 : 2017. 02. 24

www.kci.go.kr