

Dose Motor Inhibition Response Training Using Stop-signal Paradigm Influence Execution and Stop Performance?

Sung Min Son

Department of Physical Therapy, College of Health Science, Cheongju University, Cheongju, Korea

Purpose: This study examined whether 1) the motor inhibition response as cognitive-behavioral component is learning through a stop signal task using stop-signal paradigm, and 2) whether there is a difference in the learning degree according to imagery training and actual practice training.

Methods: Twenty young adults (males: 9, females: 11) volunteered to participate in this study, and were divided randomly into motor imagery training (IT, n = 10) and practice training (PT, n = 10) groups. The PT group performed an actual practice stop-signal task, while the IT group performed imagery training, which showed a stop-signal task on a monitor of a personal computer. The non-signal reaction time and stop-signal reaction time of both groups were assessed during the stop-signal task.

Results: In the non-signal reaction time, there were no significant intra-group and inter-group differences between pre- and post-intervention in both groups ($p > 0.05$). The stop-signal reaction time showed a significant difference in the PT group in the intra-group analysis ($p < 0.05$). On the other hand, there was no significant intra-group difference in the IT group and inter-group difference between pre- and post-intervention ($p > 0.05$).

Conclusion: These results showed that the motor inhibition response could be learned through a stop-signal task. Moreover, these findings suggest that actual practice is a more effective method for learning the motor inhibition response.

Keywords: Motor imagery, Stop-signal paradigm, Stop signal task, Motor inhibition response

서론

수행하는 행동의 실행적 제어는 특정한 행동적 목표 성취나 충동적인 행동을 억제하기 위한 행위일 뿐만 아니라 동작의 순서에 포함된 요소들을 적절하게 선택하기 위해 인지-행동(cognitive behavior) 처리 과정이 필요한 복잡하고 연합적인 고위 인지기능이다.^{1,2} 실행적 제어에서 동작정지기능은 동작의 정보 처리과정 중 계획된 동작에 대한 음성적 피드백 혹은 부적절한 충동적 동작이 억제성 활동으로 나타나는 인지-운동적 처리과정이라고 할 수 있다.^{3,4} 동작정지를 위한 운동반응 억제 기능은 목표에 도달하기 위해 동작을 최적의 방향으로 바꾸기 위한 첫 단계이며, 인지적 제어에 있어 가장 일반적인 필요 사항이다.^{5,6} 이러한 동작정지를 위한 운동반응 억제는 행동의 유연성을 위해 필수적이고 다양하게 변화하는 주위 환경에 적응하기 위해서 많은 경험과 학습을 통해 이루어진다.⁵

부적절한 행동(action)을 억제하기 위한 능력은 적절한 목표-지향

적인 행위(behavior)를 달성하기 위해 기초적인 요소이고, 정지신호 패러다임(stop-signal paradigm)을 이용한 정지신호과제(stop-signal task)는 동작정지능력의 반응억제(response inhibition) 진행에 대한 시간적 경로(time course)의 평가를 제공함으로써 많은 인지과학, 인지신경학 및 정신병리학 등의 연구 분야에서 많이 사용되고 있다.^{7,8} 정지신호 패러다임은 반대 조건(opposing requirements)을 가진 두 가지 과제 사이에 균형(trade-off) 요소와 관련되어 있으며, 주어진 자극에 가능한 빠른 반응이 필요한 진행과제(go task)와 다른 하나는 정지 신호가 나타났을 때 실행 반응을 정지하는 정지과제(stop task)로 구성되어 있다.⁹ 정지신호 패러다임은 동작 수행의 반응억제 진행에 대한 시간적 경로를 평가하기 위해 정지신호반응시간(stop-signal reaction time, SSRT)을 측정함으로써 확인할 수 있으며, 진행과제에 반응하는 시간을 측정하는 운동반응시간(non-signal reaction Time, NSRT)과 시각적 진행과제를 제시한 이후 청각적 정지신호가 제시될 때까지의 시간을 의미하는 정지신호지연(Stop Signal Delay)의 관계를 설명하는

Received Mar 5, 2020 Revised Apr 7, 2020

Accepted Apr 14, 2020

Corresponding author Sung Min Son

E-mail ssm0417@hanmail.net

Copyright ©2020 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

합수를 통해 정지신호반응시간이 결정되어진다.^{10,11}

빠른 반응이 필요한 진행 과제와 연관된 뇌 영역은 대뇌겉질(cortex), 바닥핵(basal ganglia), 시상(thalamus)과 대뇌 겉질로 되돌아가는 대뇌겉질-바닥핵-시상겉질(cortico-basal ganglia-thalamocortical circuit) 연결 회로이며,¹² 운동반응억제와 관련한 뇌 영역은 이마엽-바닥핵 회로(fronto-basal ganglia circuit)로서 아래 이마엽이랑(inferior frontal gyrus), 중간 이마엽이랑(middle frontal gyrus), 안쪽 이마엽이랑(medial frontal gyrus)과 기저핵이 포함된다.^{3,13} 선행 연구들에서 주의력 결핍 및 과잉 행동(attention deficit hyperactivity disorder), 강박증(obsessions) 및 틱(tic) 장애를 가진 사람들에서는 동작을 정지하기 위한 운동반응 억제 기능이 결핍되어 있다고 보고되었으며,^{14,15} 운동반응억제와 관련한 이마엽-바닥핵 회로의 기능과 구조적인 차이를 가지고 있다고 하였다. 하지만, 선행연구들에서 성공적인 운동반응억제를 달성했을 때, 이마엽-바닥핵 주위의 활성화도가 증가하였다고 보고하였으며, 이는 지속적인 자극의 입력은 뇌 가소성 및 운동반응억제의 학습으로도 이어질 수 있을 것이라 생각되어진다.^{16,17}

지금까지 연구들은 지속적인 과제 훈련을 통해 운동 수행 능력(motor performance capacity)이 자동적인 운동학습으로 연계되어지는지 확인한 연구들이 대부분이며, 본 연구에서 사용한 정지신호 패러다임을 이용하여 운동 억제 반응(motor inhibition response)에 대한 인지-행동 학습에 관한 연구는 없었다. 따라서 본 연구의 목적은 정지신호 패러다임을 이용한 정지신호과제 훈련이 인지-행동학적 요소인 운동 반응억제에서도 학습이 이루어지는지 확인하는 것이며, 추가적으로 상상훈련(imagery training) 방법과 실질적인 수행 훈련에 따른 학습 정도의 차이가 있는지 알아보고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 20명의 건강한 젊은 성인 대상자가 참여하였으며, 대상자들은 과제 수행 방식에 따라 상상 훈련 그룹(10명)과 실제 수행훈련 그룹(10명)으로 무작위 배정하였다. 대상자들의 선별 기준은 다음과 같다. 1) 최근 1년 이내에 상지(upper extremity)의 근골격계 질환 및 현재 상지의 통증이 없는 자, 2) 신경학적 혹은 정신적 문제가 없는 자, 3) 과제 수행에 영향을 줄 수 있는 시각 및 청각적 문제가 없는 자로 하였다. 대상자는 비우세손을 사용하여 과제를 수행하였으며, 비우세손은 축구공을 발로 찾을 때 축이되는 쪽을 비우세측으로 하였다. 모든 대상자들에게 연구의 목적과 방법을 충분히 설명하였고, 이에 실험에 자발적으로 동의하고 참여한 대상자들로 하였다.

2. 정지신호과제

정지신호과제는 제시되는 자극에 가능한 빠른 반응을 요구하는 진행과제와 제시되는 자극에 대해 정지 반응을 요구하는 정지과제로 구성되어 있으며, 시각적 자극으로 제시되는 진행과제에 대해 가능한 빠르게 동작 실행 반응을 보이거나 진행과제가 주어진 후에 짧은 청각적 신호를 제시하였을 때 동작 실행을 취소하는 반응이 나타나도록 설계되었다. 본 연구에서 사용된 정지신호과제는 75%의 진행과제와 25%의 정지과제가 무작위 순서로 제공되었다. 진행 과제는 시각적 자극으로서 모니터 중앙에 검정 바탕의 흰색의 사각형 혹은 원형 모양의 도형이 제시되며, 정지과제는 진행과제와 동일하게 일차적인 사각형 혹은 원형 모양의 시각적 자극이 주어진 후 반응의 정지를 제시하는 청각적 자극인 “삐” 소리가 나도록 하였다. 제공되는 시각적 자극은 대상자가 과제 수행을 완료하거나 혹은 반응이 없는 경우 1,250 ms 후 다음 자극으로 진행되도록 설계되었다.

본 연구에서는 정지신호과제를 측정하기 위해 STOP-IT 프로그램(Universiteit Gent, Belgium)을 사용하였으며, 과제 수행을 위해 개인용 컴퓨터를 이용하여 진행하였다. 정지신호과제에서 측정되는 변수로서 운동반응시간과 정지신호반응시간을 확인하기 위해 STOP-IT 분석프로그램(ANALYZE-IT, Universiteit Gent, Belgium)을 이용하였다. 운동반응시간과 정지신호반응시간을 측정하기 위해 평균 운동반응시간에서 정지신호지연시간을 감하여 구한다. 정지신호과제는 운동반응정지 확률이 50%가 되도록 조절하기 위해서 과제수행의 성공 여부에 따라 정지신호지연시간이 달라지게 설정되어 있다. 초기 신호정지지연시간은 250 ms으로 시작하고 정지 과제를 성공할수록 50 ms씩 증가하며, 이에 반해 정지과제 수행에 실패하면 50 ms씩 감소하게 설계되었다.

$$\text{정지신호반응시간} = \text{평균 운동반응시간} - \text{반응지연지연시간 (SSRT)} \\ = \text{Mean NSRT} - \text{SSD}$$

대상들에게 제시된 정지신호과제는 1번의 연습 구간과 3번의 검사 구간으로 이루어져 있으며, 연습 구간에서는 32회 자극이 제공되고 검사 구간에서는 64회의 자극이 3번 제공될 수 있도록 구성되어 있어 총 224회의 자극이 제시되도록 설계되었다.¹⁸

3. 실험 절차

모니터에 제시되는 자극의 유형에 따라 진행과제에서는 비우세손으로 사각형(■)일 때는 “V” 혹은 원형(●)일 때는 “N” 버튼을 누르게 하였고, 진행과제가 주어진 후 청각적 정지 신호가 제시되면 진행과제 실행을 취소하게 하였다. 대상자들은 편하게 의자에 앉은 자세를 취하였으며, 시각적 자극이 제시되는 모니터는 전방 70 cm 정도의 거리에 위치 시켰고 실험 동안 청각적 자극으로서 제시되는 반응 정지 신호 이외에 다른 청각적 자극에 영향을 받지 않기 위해 이어폰을 사용하였다.

수행 그룹은 자극의 유형에 따라 동작정지신호과제를 실제로 수

행하도록 하였고, 심상훈련 그룹은 수행 그룹과 동일한 조건에서 실질적인 과제 수행은 이루어지지 않고 각 자극의 유형에 따라 심상 훈련을 수행하도록 하였다. 두 그룹 모두 5일동안 하루 2회씩 5일동안 총 10회의 동작정지신호과제훈련을 실시하였고, 훈련 전-후 평가를 실시하였다. 동작정지신호과제 훈련 및 측정 동안 두 그룹에서 제시되는 과제 프로그램의 동일성 및 적합성을 유지하기 위하여 동일한 프로그램을 사용하였으며, 각 훈련 및 측정 시간은 1회에 10분 정도 소요되었다. 전-후 측정 평가에서 과제수행 정확도가 85% 미만인 경우 대상자들의 집중 및 다른 요인에 의한 오류로 인식하여 5분간의 휴식을 가진 후 재 측정을 실시하였다.

4. 자료분석

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 22.0 버전을 사용하여 통계 처리하였으며, 유의 수준은 0.05로 설정하였다. 두 그룹 사이에 나이, 키, 몸무게와 같은 일반적 특성은 기술통계 및 독립 t-test (independent t-test)를 이용하여 비교하였다. 두 그룹 사이에 훈련의 전-후 비교는 Wilcoxon 부호 순위 검정(Wilcoxon signed ranks test)을 사용하였으며, 집단 간 전-후 차이를 비교하기 위해서 Mann-Whitney U-검정(Mann-Whitney U-test)을 이용하였다.

Table 1. The general characteristics of subjects

	PT group (n= 10)	IT group (n= 10)	p
Male/Female	4/6	5/5	
Age (yr)	21.5±1.51	21.5±1.78	1.000
Height	169.60±8.91	171.20±12.25	0.742
Weight	64.50±13.56	65.60±16.36	0.872

Mean±SD.

Table 2. Comparison of the NSRT between the pre- and post-test in both group

	Pre (ms)	Post (ms)	Difference value	p
PT group (n= 10)	800.85±126.66	805.94±169.04	-5.09±114.60	0.959
IT group (n= 10)	846.34±104.99	906.41±122.94	-60.07±92.41	0.070
p			0.253	

Mean±SD.

NSRT: non-stop reaction time, PT: practice training group, IT: image training group.

Table 3. Comparison of the SSRT between the pre- and post-test in both group

	Pre (ms)	Post (ms)	Difference value	p
PT group(n= 10)	243.52±40.81	215.66±25.92	-27.86±40.27	0.007*
IT group(n= 10)	240.66±25.60	230.14±33.27	-10.52±34.01	0.169
p			0.190	

Mean±SD.

SSRT: stop signal reaction time, PT: practice, IT: image training group.

*p<0.05.

결 과

본 연구에 참여한 대상자는 실제 수행 훈련 그룹과 심상 훈련 그룹 10명씩 전체 20명으로 구성되었다. 성별, 나이, 키 및 몸무게와 같은 일반적 특성에서는 두 그룹 사이에서 유의한 차이는 없었다(p>0.05)(Table 1).

정지 신호 과제 훈련에 따른 운동 반응 시간의 전-후 비교에서 심상 훈련 그룹과 실제 수행 훈련 그룹에서 모두 유의한 차이가 없었고(p>0.05), 두 그룹 사이의 전-후 차이 값 비교에서도 유의한 차이가 없었다(p>0.05)(Table 2). 정지 신호 과제 훈련에 따른 정지 반응 시간의 전-후 비교에서 실제 수행 훈련 그룹에서는 유의한 차이가 있었으며(p<0.05), 심상 훈련 그룹에서는 유의한 차이가 없었다(p>0.05)(Table 3). 두 그룹 사이의 전-후 차이 값 비교에서는 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

고 찰

본 연구에서는 정지신호 패러다임을 이용하여 인지-행동학적 운동 반응 억제에 대한 학습 효과를 확인하기 위하여 심상 훈련 그룹과 실제 수행 훈련 그룹으로 나누어 정지신호과제 훈련을 실시하였다. 본 연구의 결과에서 심상 훈련 그룹과 실제 수행훈련 그룹 모두 훈련 전과 비교했을 때 진행과제에서 측정 된 운동반응시간에서는 유의한 차이가 없었다. 정지과제에서 측정 된 정지신호반응시간에서 훈련 전-후 심상 훈련 그룹에서는 약간의 시간적 감소는 보였지만, 유의한 차이는 없었다. 실제 수행 훈련 그룹에서는 훈련 전후 유의한 시간적 감소를 나타내었다. 두 그룹 간 비교에서 운동반응시간과 정지반응 시간 모두 실제 훈련 그룹과 심상 훈련 그룹 사이에 유의한 시간적 차

이는 없었다.

본 연구에서 정지신호 과제의 진행 과제에서 측정되는 운동반응 시간에서 그룹 내 비교와 그룹 간 비교에서 모두 유의한 차이가 없었다. 훈련 전-후 그룹 내 비교에서 심상 훈련 그룹은 진행 과제를 수행하는 운동반응시간이 다소 증가하였으며, 실제 수행 훈련 그룹에서는 운동반응시간에 차이를 보이지 않았다. 이러한 연구 결과가 나타난 원인은 본 연구에서 사용한 정지신호 과제 훈련이 자극에 대해 빠른 반응을 요구하는 진행과제와 자극에 대해 정지 반응을 요구하는 정지과제가 무작위 순서로 제시되어 두 과제에 대한 예측이 불가능하며, 정지과제가 성공할수록 신호정지 지연 시간이 점차 증가하도록 설계되어 있어 대상자들은 진행과제에 대한 빠른 반응이 적어진다고 할 수 있다.¹⁹ 이러한 반응의 변화는 성공적인 과제 수행을 위해 무작위 순서로 제시되는 두 가지 상반된 과제(진행과제와 정지과제) 사이에서 조정된 반응 전략을 통해 최적의 균형적인 반응을 수립해 나가는 과정으로 해석할 수 있다.¹¹ 또한, 본 연구는 정지신호가 제시될 경우 반응을 멈추는 과제가 포함되어 있어 대상자들이 진행 과제를 수행하는 동안 상대적으로 빠른 반응을 보이지 않아 나타난 결과로 사료되어진다.²⁰ 추가적으로 Verbruggen 와 Logan²¹은 진행과제 시 성공적인 빠른 반응은 정지신호 과제에 대한 불이행을 시사할 수 있으며, 정지과제에 대한 성공적인 과제 수행은 과제 수행 시 빠르게 반응을 수행하지 않고 느린 반응을 선택한 결과로 의미할 수 있다고 하였다.

정지과제에서 측정된 정지신호반응시간은 훈련 전-후 두 그룹에서 모두 시간적 감소가 나타났으며, 실제수행훈련 그룹에서만 유의한 차이를 보였다. 본 연구 결과를 토대로, 인지-행동학적 요소인 운동 반응억제는 정지 과제 훈련을 통해 학습이 이루어질 수 있음을 확인하였다. 심상훈련은 신체 움직임 없이 시각 및 청각적 자극을 이용하여 머리속으로 어떠한 행동을 상상함으로써 간접적인 운동 감각 경험을 얻는 과정을 의미한다.^{22,23} 선행 연구들에서 심상훈련은 인지-행동학적 학습이 덜 소요되는 공 던지기나 혹은 다크 던지기과 같은 단순한 과제 수행에서도 운동 기능의 향상이 나타난다고 하였다.²⁴ 또한, Yeo 등²⁵의 연구에서 심상훈련이 시열 반응과제와 같은 인지-행동학적 능력이 필요한 수행 과제에서도 기능 향상을 이끌 수 있음을 확인하였다. 이러한 심상을 통한 움직임 과정에 대한 상상은 운동 수행의 준비 단계에서 나타날 수 있는 동작의 오류 및 비효율성을 감소시킬 수 있으며,²⁶ 심상 훈련을 통한 움직임의 향상은 운동 영역 뿐만 아니라 인지적 영역에 영향을 주어 운동 학습의 효율성을 증진시킬 수 있는 방법이다. Wilson 등²⁷의 연구에서도 협응 운동장애(impaired motor coordination)를 가진 아동을 대상으로 심상훈련 그룹과 실제 인지 운동 훈련(perceptual-motor training) 그룹으로 나누어 5주간 중재를 실시한 결과 심상훈련 그룹이 실제 인지 운동 훈련 그룹과 거의 동일한 운동수행능력의 향상이 나타났다고 보고하였다. 이러한 심

상 운동의 효과에 대한 기전은 fMRI 검사를 통한 대뇌 겉질(brain cortex) 활성화에 패턴 및 근활성도 변화 대한 연구에서 확인할 수 있다. Nyberg 등²⁸의 연구에서는 손가락 탭핑과제(taping task)에 대한 실제 훈련 그룹과 동작을 상상한 심상 훈련 그룹에서 모두 운동 관련 대뇌 겉질에서 활성도가 증가한 것을 확인하였고, Bonnet 등²⁹의 연구에서는 심상과제 훈련 동안 근전도에서 H-반사 강도가 증가하여 심상 훈련이 근육의 활성도를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

하지만, 본 연구에서는 과제 훈련 전-후를 비교했을 때 심상 훈련 그룹에서는 유의한 차이를 보이지 않아 심상 훈련이 수행 능력의 향상을 이끌 수 있다는 선행 연구들의 결과와 차이를 보였다. 이와 같은 본 연구 결과는 실제 수행 훈련과 심상 훈련의 수행 방법의 차이에 의해서 나타난 결과라 생각된다. 실제 수행 훈련 그룹이 심상훈련 그룹에 비해 인지-행동학적 능력을 바탕으로 반복적인 신체 움직임을 이용한 연습 통해 점차적으로 시간이 경과하면서 정지신호과제에 대한 반응이 습관화 또는 자동화 되어 운동 학습이 이루어져 나타난 결과라 할 수 있다.³⁰ 이 연구의 결과를 토대로, 실제 훈련 방법이 운동 심상 훈련에 비해 운동반응 억제에 대한 학습에 더 효율적일 수 있음을 시사한다.

본 연구 결과를 바탕으로 정지신호 패러다임을 이용한 반응억제 훈련 과제는 충동적인 혹은 행동 억제가 어려운 대상자들의 행동학적 변화를 야기시킬 수 있는 중재 방법으로도 사용할 수 있는 근거 토대를 확인한 연구라 할 수 있다. 하지만, 본 연구는 고려해야 할 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 본 연구에서는 대상자의 표본 크기가 작아 일반화하기 어렵다는 것이다. 둘째, 본 연구에서는 젊은 건강한 성인을 대상으로 실시한 연구로서 인지-행동학적 충동 결함을 가진 대상자에게 동일하게 일반화 시키기에 어려움이 있다. 따라서, 향후 연구에서는 이러한 제한점을 보완한 추가적인 연구들이 시행되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the research grant of Cheongju University (2018.09.01-2020.08.31).

REFERENCES

1. Duncan J, Owen AM. Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends Neurosci.* 2000;23(10): 475-83.
2. Goghari VM, MacDonald AW 3rd. The neural basis of cognitive control: Response selection and inhibition. *Brain Cogn.* 2009;71(2):72-83.
3. Aron AR. The neural basis of inhibition in cognitive control. *Neurosci-*

- entist. 2007;13(3):214-28.
4. Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ et al. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cogn Psychol.* 2000;41(1):49-100.
 5. Badry R, Mima T, Aso T et al. Suppression of human cortico-motoneuronal excitability during the stop-signal task. *Clin Neurophysiol.* 2009; 120(9):1717-23.
 6. Barkley RA. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of adhd. *Psychol Bull.* 1997; 121(1):65-94.
 7. Verbruggen F, Liefoghe B, Vandierendonck A. Selective stopping in task switching: The role of response selection and response execution. *Exp Psychol.* 2006;53(1):48-57.
 8. Verbruggen F, Logan GD. Models of response inhibition in the stop-signal and stop-change paradigms. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009;33(5): 647-61.
 9. Logan GD, Van Zandt T, Verbruggen F et al. On the ability to inhibit thought and action: General and special theories of an act of control. *Psychol Rev.* 2014;121(1):66-95.
 10. Band GP, van der Molen MW, Logan GD. Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychol.* 2003;112(2):105-42.
 11. Verbruggen F, Logan GD. Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends Cogn Sci.* 2008;12(11):418-24.
 12. Alexander GE, Crutcher MD, DeLong MR. Basal ganglia-thalamocortical circuits: Parallel substrates for motor, oculomotor, “prefrontal” and “limbic” functions. *Prog Brain Res.* 1991;85:119-46.
 13. Rubia K, Smith AB, Taylor E et al. Linear age-correlated functional development of right inferior fronto-striato-cerebellar networks during response inhibition and anterior cingulate during error-related processes. *Hum Brain Mapp.* 2007;28(11):1163-77.
 14. Enticott PG, Ogloff JR, Bradshaw JL. Response inhibition and impulsivity in schizophrenia. *Psychiatry Res.* 2008;157(1-3):251-4.
 15. Geurts HM, Verte S, Oosterlaan J et al. How specific are executive functioning deficits in attention deficit hyperactivity disorder and autism? *J Child Psychol Psychiatry.* 2004;45(4):836-54.
 16. Aron AR, Poldrack RA. The cognitive neuroscience of response inhibition: Relevance for genetic research in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol Psychiatry.* 2005;57(11):1285-92.
 17. Kieling C, Goncalves RR, Tannock R et al. Neurobiology of attention deficit hyperactivity disorder. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am.* 2008;17(2):285-307.
 18. Verbruggen F, Logan GD, Stevens MA. Stop-it: Windows executable software for the stop-signal paradigm. *Behav Res Methods.* 2008;40(2): 479-83.
 19. Chikazoe J, Jimura K, Hirose S et al. Preparation to inhibit a response complements response inhibition during performance of a stop-signal task. *J Neurosci.* 2009;29(50):15870-7.
 20. Verbruggen F, Logan GD. Automaticity of cognitive control: Goal priming in response-inhibition paradigms. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn.* 2009;35(5):1381-8.
 21. Verbruggen F, Logan GD. Proactive adjustments of response strategies in the stop-signal paradigm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 2009; 35(3):835-54.
 22. Guillot A, Collet C. Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Res Brain Res Rev.* 2005;50(2):387-97.
 23. Solodkin A, Hlustik P, Chen EE et al. Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. *Cereb Cortex.* 2004;14(11):1246-55.
 24. Mendoza D, Wichman H. “Inner” darts: Effects of mental practice on performance of dart throwing. *Percept Mot Skills.* 1978;47(3 Pt 2):1195-9.
 25. Kim CS, Yeo SS, Park SY. The effects of motor learning through the mental imagery training on task performance and motor learning component. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science.* 2010;49(4): 221-36.
 26. Richard Schmidt TL. Motor control and learning: A behavioral emphasis. 4th ed. Human kinetics, 2005.
 27. Wilson PH, Adams IL, Caeyenberghs K et al. Motor imagery training enhances motor skill in children with dcd: A replication study. *Res Dev Disabil.* 2016;57:54-62.
 28. Nyberg L, Eriksson J, Larsson A et al. Learning by doing versus learning by thinking: An fmri study of motor and mental training. *Neuropsychologia.* 2006;44(5):711-7.
 29. Bonnet M, Decety J, Jeannerod M et al. Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man. *Brain Res Cogn Brain Res.* 1997;5(3):221-8.
 30. Seger CA. Implicit learning. *Psychol Bull.* 1994;115(2):163-96.