



- 권중원, 남석현, 김중선¹
- 대구대학교 대학원 재활과학과, ¹대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

The Effect of Performance of a Stop Signal Task on the Execution and Stop Function of Movement

Jung-Won Kwon, PT, MS; Seok-Hyun Nam, PT; Chung-Sun Kim, PT, PhD¹

Department of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University; ¹Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation, Daegu University

Purpose: We studied the changes in motor response time and stop signal response time following visuomotor skill learning of a stop signal task in young healthy subjects. This study also was designed to determine what an effective practice is for different stop signals in the stop signal task (SST).

Methods: Forty-five right-handed normal volunteers without a history of neurological dysfunction were recruited. They all gave written informed consent. In all subjects, motor reaction time (RT) and stop signal reaction time (SSRT) were measured for the stop signal task. Tasks were classified into three categories: predictable-stop signal task (P-SST) practice group random-stop signal task (R-SST) practice group control group.

Results: Motor reaction time in the P-SST was significantly reduced when comparing pre- and post-tests ($p < 0.05$). Stop signal reaction times in the P-SST and the R-SST were significantly reduced following motor skill learning ($p < 0.05$). Also, the reaction time of the R-SST was shorter than that of the P-SST.

Conclusion: These findings indicate that practice of an SST improves motor performance and stop function for some stop signals in the SST. P-SST practice was effective in the stop function of regular movement because of faster of the motor prediction and preparation but the R-SST was effective in the stop function of movements because of faster motor selection.

Keywords: Stop signal task, Stop function, Motor learning

논문접수일: 2011년 1월 7일

수정접수일: 2011년 1월 26일

게재승인일: 2011년 2월 7일

교신저자: 김중선, chskim@daegu.ac.kr

1. 서론

운동학습에서의 실행적 제어는 특정한 행동적 목표를 성취하기 위한 순차적인 활동뿐만 아니라 동작의 순서에 포함된 동작 요소들을 적절하게 선택하는 인지적, 행동적 처리과정에 대한 복잡한 고위 인지기능의 연합이다.^{1,2} 이러한 실행적 제어에서 동작의 정보 처리과정 중 동작정지기능은 계획된 동작에 대한 음성 피드백 또는 부적절하고 충동적인 동작에 대한 억제성 활동을 나타내는 인지-운동적 처리과정이라고 할 수 있다.^{3,4} 이러한

실행적 제어로서의 동작정지기능은 일상생활에서 목표에 도달하기 위한 동작을 최적의 방향으로 바꾸기 위한 첫 번째 단계이며, 인지적 제어에 있어 가장 일반적인 요구사항이다.⁵ 따라서 동작정지기능은 행동적 유연성에 필수적인 요소이며, 매번 변화하는 환경에 적응하기 위해서 다양한 일상생활작업의 많은 경험과 학습을 통해 이루어지고 있다.

동작정지기능의 실행적 제어에 관한 대표적인 이론 중 하나로 정지신호 패러다임(stop-signal paradigm)은 Logan⁶에 의해 처음 제시되었으며, 이를 바탕으로 생겨난 것이 정지신호과제

(stop-signal task, SST)이다. Logan⁶의 정지신호 패러다임은 일련의 제시되는 자극에 대한 반응과 신호로 제시되는 ‘정지신호(stop-signal)’라는 목표 자극에 대한 반응으로, 정지신호과제에서는 빠르고 정확한 실행을 요구하는 단순한 진행 과제(go task)와 이와 동시에 때때로 예측할 수 없게 그러한 활동을 중단하는 것을 요구하는 정지 과제(stop task)를 포함한다. 이러한 패러다임을 기초로 한 정지신호과제에서는 제시된 자극에 대한 반응이 일차적 자극이 주어진 이후에 정지신호가 주어진다면 일정한 시점에서 반응을 하려는 경향과 반응을 정지하려는 경향이 경쟁하게 되고 이로 인해 동작의 유무가 결정된다. 이러한 경쟁에 영향을 미치는 변인으로 일차 운동반응시간, 정지신호가 주어진 정지신호지연시간, 마지막으로 정지신호반응시간이 있다.^{7,8}

이러한 정지신호과제는 수의적 운동수행에서 반응을 계속하게 하거나 계획된 정지에 대한 행동적 처리를 직접적으로 제공하며, 실행 기능 중의 하나인 동작정지기능을 평가하는 도구로써 인지과학, 신경심리학, 행동발달학 및 정신의학에서 연구의 특성에 맞게 수정하여 사용되고 있다.⁹⁻¹¹ 정지신호과제를 이용한 동작정지기능의 선행 연구들을 살펴보면, 뇌 신경과학 분야에서는 전전두엽(prefrontal lobe)의 병변이 있는 환자 중 특히 우하전두이랑(right inferior frontal gyrus) 병변에서 정지신호과제를 통해 동작정지기능의 결핍이 나타났으며, 기저핵 병변에서도 더 낮은 동작정지기능이 나타났다고 보고되고 있다.¹²⁻¹⁴ 또한 정신병리학에서는 행동의 억제가 결핍되고 충동적 행동이 많은 ADHD 집단이 정상 집단에 비해 더 긴 정지신호반응시간을 보였으며,¹⁵ 강박 신경증(obsessive-compulsive disorder)이 있는 집단에서도 동작의 반응정지에 어려움이 있으며, 낮은 실행적 제어를 보인다고 하였다.¹⁶ 이처럼 동작정지기능의 결핍은 뇌신경학적 손상에 기인하기도 하지만 강박, 충동 및 틱(tic)과 같은 정신질환이나 약물 중독, 알코올 중독과 같은 만성적 물질남용 질환과도 많은 관련이 있다.¹⁷⁻²⁰ 따라서 정지신호과제는 자극에 대한 동작의 실행 반응과 자극에 대한 정지 반응을 통하여 수행 중 나타나는 운동제어의 처리가 잘 반영되어 있다.

최근 국외에서는 정지신호과제를 통하여 반응의 실행과 정지에 대한 인지적 제어, 동작의 준비과정과 관련된 동작의 예측에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.^{2,21-23} 하지만 국내에서는 정지신호과제와 같은 동작정지기능에 관한 연구는 정신병리, 인지심리 분야에서 많이 이루어지고 있으며, 뇌 신경과학 분야에서 운동학습과 연관된 동작의 실행과 정지, 인지 및 실행적 제어에 관한 메커니즘의 연구는 부족한 실정이다. 또한 이전까지 운동학습에 관한 연구는 운동 실행에 중점을 두고 있어 반응에 대한 실제 동작을 멈추는 능력에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실행 기능에서 동작의 정지에 초

점을 맞추어, 정지신호의 제시 형태에 따른 정지신호과제의 수행이 동작의 실행 및 정지기능에 미치는 영향을 알아보고, 운동 학습을 통한 동작의 자동화에 있어 운동제어 시스템의 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 우성손의 판별 검사인 Edinburg Handedness Inventory에서 오른손잡이로 입증된 20대 정상 성인 45명(남: 24명, 여: 21명)을 대상으로 하였으며, 대상자의 선별 기준은 1) 최근 3년 이내에 상지의 근·골격계 질환이 없는 자, 2) 최근 3개월 이내에 경두개에 자기 또는 전기 자극과 같은 대뇌피질에 외부 자극을 가하는 실험에 참여하지 않은 자, 3) 신경학 및 정신의학 적 질환의 병력이 없는 자, 4) 과제의 수행에 영향을 미치는 시지각에 문제가 없는 자로 하였다. 모든 대상자는 실험에 참가하기 전 연구 목적과 방법에 대하여 충분한 설명을 듣고 이에 자발적 동의를 한 후 실험에 참여하였다(Table 1).

Table 1. General characteristics of each group (M±SD)

	Group A	Group B	Control
Sex	Male (n)	7	10
	Female (n)	8	5
Age (years)	21.80±2.18	22.07±1.98	22.80±2.80
Height (cm)	166.53±8.90	170.20±9.67	168.60±5.72
Weight (kg)	61.40±12.45	64.53±12.79	61.27±8.34

M±SD: Mean±standard deviation

Group A: Predictable stop signal task (P-SST) practiced group

Group B: Random stop signal task (R-SST) practiced group

Control: non-practiced group

2. 실험방법

1) 실험도구

본 실험에 사용된 정지신호과제는 과제의 진행 및 정지반응을 구성하기 위한 자극 제공 프로그램(STOP-IT, Universiteit Gent, 벨기에)을 사용하였다. 실험에서 사용된 정지신호과제는 정지신호의 제시 형태에 따라 정지신호가 일정하게 제시되는 예측가능-정지신호과제(predictable stop signal task, P-SST), 정지신호가 무작위로 제시되는 무선-정지신호과제(random stop signal task, R-SST)로 구분하였다. 각각의 과제에서 제시되는 자극에 대한 과제 수행은 개인용 컴퓨터(Compaq 6520s, HP, 미국)의 반응키(←, →, ↓, ↑)를 사용하여 각각의 도형에 해당하는 버튼을 누르도록 하였으며, 이를 통하여 대상자에 대한 자

극 시점과 반응 시점에 대한 정보를 측정하였다. 측정된 반응시간의 분석은 STOP-IT의 분석 프로그램(ANALYZE-IT, Universiteit Gent, 벨기에)을 사용하였다.

2) 정지신호과제의 구성

정지신호과제는 한 블록 안에서 진행 과제와 정지 과제로 구분되며, 과제 전체 시행의 75%는 진행 과제, 나머지 25%는 정지 과제로 구성되어있다. 진행 과제(go task)에서는 고정점인 십자표(+)가 나온 이후에 시각적 자극으로 사각형(■), 원형(●), 삼각형(▲), 마름모(◆) 모양의 도형 중 하나를 컴퓨터 모니터 중앙에 무작위로 제시되며, 정지 과제(stop task)에서는 진행 과제에서의 일차적 자극 이후에 엑스(X) 모양, 즉 반응을 정지하라는 자극이 시각적으로 제시된다.

예측가능-정지신호과제에서는 진행 과제 중 제시되는 자극의 4번째마다 정지신호가 제시되도록 하였으며, 무선-정지신호과제에서는 진행 과제 중 순서에 상관없이 제시되도록 하였다.

3) 측정방법

대상자는 편하게 앉은 상태에서 자극이 제시되는 모니터와 전방 75 cm 거리를 두며, 네 가지 반응 버튼 위에 왼손을 올려 두도록 하였으며, 버튼을 누르는 데에 영향을 미치지 않는 범위 내에 편안한 자세를 취하도록 하였다. 자극을 제시하기 전에 고정점(+)을 250 msec 제시하고, 이 후에 서로 다른 네 가지 종류의 자극 중 하나를 1000 msec 동안 제시하였다. 진행 과제에서 대상자는 자극이 제시되면 그에 해당하는 버튼을 가능한 한 빠르고 정확하게 눌러야 하며, 대상자가 자극에 반응할 때까지 자극 제시를 계속 유지하도록 하여 최대 1250 msec의 시간이 지날 때까지 계속 제시되도록 하였다. 정지 과제에서는 네 가지 자극 중 하나를 제시하면서, 동시에 정지신호자극(X)을 제시하는데, 이 때에 대상자는 어떠한 버튼도 누르지 않도록 하였다.

각각의 정지신호과제에 맞게 구분된 집단 즉, 집단 A는 예측가능-정지신호과제를 연습, 집단 B는 무선-정지신호과제를

연습하는 집단은 연습 전에 두 가지의 과제를 모두 시행하였으며, 측정 후 5일 동안 각각의 과제를 구분하여 연습하였고, 연습 종료 후 다음 날 두 가지의 과제를 모두 시행하였다. 실험군을 제외한 대조군은 두 가지의 과제에 대한 연습이 없으며, 단지 측정 전·후 두 가지의 과제만을 시행하였다.

3. 자료분석

실험에서 수집된 자료는 SPSS 14.0 for window를 이용하여 통계 처리하였다. 대상자의 일반적인 특성에 대한 집단 간 차이 검정 및 연습 전 집단 간 반응시간의 차이는 일원 분산 분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 각 집단에서 연습 전과 후의 반응시간의 차이를 대응표본 t-검정(paired t-test)를 사용하여 분석하였으며, 각각의 정지신호과제에서 연습 전·후 집단 내 차이의 검정과 집단 간 비교를 개체 간 요인이 있는 이원 반복 측정 분산분석(two-way repeated measure)을 사용하였다. 통계학적 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

III. 결과

1. 과제에 따른 연습 전, 후 운동반응시간의 변화

예측가능-정지신호과제(P-SST)에서 모든 집단의 연습 전·후 운동반응시간의 변화를 분석한 결과, 모든 집단에서 연습 후 운동반응시간이 통계학적으로 유의하게 감소하였으나($p < 0.05$), 대조군은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2)($p > 0.05$). 이원반복측정분산분석(two-way repeated measure)을 통한 집단 내 효과 검정 결과, 모든 집단에서 연습 전·후 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 집단 간 효과 검정에서도 집단 간 유의한 차이가 있었고($p < 0.05$), 연습 전·후와 집단 간 상호작용이 나타났다(Table 2)($p < 0.05$).

무선-정지신호과제(R-SST)에서 모든 집단의 연습 전·후 운동반응시간의 변화를 분석한 결과, 모든 집단에서 연습 후 운동반응시간이 감소하였으나, 집단 A에서만 통계학적으로 유의한

Table 2. Comparison of the motor reaction time between the pre- and post-test on each group at P-SST (unit: msec)

	Pre-test (M±SD)	Post-test (M±SD)	t	p ^a	F (p) ^b		
					Period	Group	Period × Group
Group A	727.25±71.09	647.88±52.55	5.43	0.00*			
Group B	774.62±96.05	720.06±106.27	3.02	0.02*	18.82*	4.18*	3.38*
Control	781.56±53.01	771.59±62.46	0.42	0.68	(0.00)	(0.03)	(0.04)

* $p < 0.05$, ^apaired t-test, ^btwo way repeated ANOVA

M±SD: Mean±standard deviation

Group A: predictable stop signal task (P-SST) practiced group

Group B: random stop signal task (R-SST) practiced group

Control: non-practiced group

차이가 있었으며($p < 0.05$), 대조군은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3)($p > 0.05$). 집단 내 효과 검정 결과, 모든 집단에서 연습 전·후 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 집단 간 효과 검정에서도 집단 간 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 연습 전·후와 집단 간 상호작용이 나타났다(Table 3)($p < 0.05$).

ontrol)는 실행 기능과 연관되어 같은 본 연구는 인지행동적, 신경심리적, 발달 및 정신병리적 연구뿐만 아니라 임상적, 치료적 활용 면에서 중요하다. 이에 따라 본 연구에서는 정지신호과제를 이용하여 정지신호의 제시 형태에 따른 연습이 동작의 실행 및 정지기능에 미치는 영향을 알아보고, 어떠한 형태의 연습이

Table 3. Comparison of the motor reaction time between the pre- and post-test on each group at R-SST (unit: msec)

	Pre-test (M±SD)	Post-test (M±SD)	t	p ^a	F (p) ^b		
					Period	Group	Period x Group
Group A	775.55±80.14	679.38±80.42	5.11	0.00*	12.49*	4.87*	5.84*
Group B	788.64±94.21	742.30±100.22	1.49	0.17	(0.00)	(0.02)	(0.01)
Control	831.88±87.39	840.99±72.99	-0.88	0.40			

* $p < 0.05$, ^apaired t-test, ^btwo way repeated ANOVA
M±SD: Mean±standard deviation
Group A: predictable stop signal task (P-SST) practiced group
Group B: random stop signal task (R-SST) practiced group
Control: non-practiced group

2. 과제에 따른 연습 전·후 정지신호반응시간의 변화

정지신호반응시간이 측정 가능한 무선-정지신호과제(R-SST)를 통하여, 모든 집단에서 연습 전·후 정지신호반응시간의 변화를 분석한 결과, 집단 B에서 가장 짧은 반응시간이 나타났고, 모든 집단에서 연습 후 운동반응시간이 통계학적으로 유의하게 감소하였으나($p < 0.05$), 대조군은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 4)($p > 0.05$). 이원반복측정분산분석(two-way repeated measure)을 통한 집단 내 효과 검정 결과, 모든 집단에서 연습 전·후 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 집단 간 효과 검정에서도 집단 간 유의한 차이가 있었으나($p < 0.05$), 연습 전·후와 집단 간 상호작용은 없었다(Table 4)($p < 0.05$).

효과적인지 검증하고자 하였다. 실험결과 모든 집단에서 과제의 연습에 따른 동작의 실행 및 정지기능에 변화가 나타났는데, 예측가능-정지신호과제를 연습한 집단에서는 연습 후 운동반응시간이 유의하게 감소하였으나, 무선-정지신호과제를 연습한 집단에서는 운동반응시간이 감소하였음에도 불구하고, 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 또한, 무선-정지신호과제에서 정지신호에 대한 반응은 모든 집단에서 정지신호반응시간이 통계학적으로 유의하게 감소하였다.

예측가능-정지신호과제를 연습한 집단에서 연습 후 유의하게 감소된 운동반응시간이 나타난 것은 일정하게 제시되는 정지신호 자극에 대한 연습이 진행 과정에서의 자극 이후에 제시되는 다음의 정지신호를 예측할 수 있어 반응에 대한 인지적 제어가 가능하기 때문일 것이다. 이로 인해 다음 시점에서 제시되는 진행 자극에 대한 운동반응을 준비할 수 있는 충분한 시간이 있다고 볼 수 있겠다. Chikazoe 등²⁴은 정지신호과제를 수행하는 동안 정지신호에 대한 반응정지의 준비(preparation)

IV. 고찰

운동수행에서 반응정지와 동작의 억제적 제어(inhibitory con-

Table 4. Comparison of the stop signal reaction time between the pre- and post-test on each group at R-SST (unit: msec)

	Pre-test (M±SD)	Post-test (M±SD)	t	p ^a	F (p) ^b		
					Period	Group	Period x Group
Group A	315.90±51.74	270.79±29.26	3.56	0.01*	25.63*	5.25*	1.83
Group B	306.44±48.31	258.11±32.36	3.12	0.01*	(0.00)	(0.01)	(0.18)
Control	337.64±29.39	320.34±37.72	1.97	0.08			

* $p < 0.05$, ^apaired t-test, ^btwo way repeated ANOVA
M±SD: Mean±standard deviation
Group A: predictable stop signal task (P-SST) practiced group
Group B: random stop signal task (R-SST) practiced group
Control: non-practiced group

과정의 연구에서 준비 과정이 있는 경우가 없는 경우보다 약 105.5 msec정도 빠른 반응을 나타내어, 반응정지는 과제를 수행하는 동안 정지신호에 대한 준비소요(preparation cost)에 따라 효과적인 반응정지를 수행한다고 하였으며, 행동적 또는 심상적 준비는 반응정지에 있어 준비소요를 증가시켜 동작의 실행과 정지기능을 향상시킨다고 하여 본 연구 결과와 일치하였다. 또한, Verbruggen과 Logan²⁵은 단순한 정지신호과제에서 원래의 자극뿐만 아니라 정지신호과제와 아무 관계없는 자극을 제시함으로써 과제를 수행함에 있어 목표(goal) 즉, 반응정지에 따른 인지적 제어의 자동화가 이루어지는지를 연구하였는데, 관계없는 자극은 정지신호과제에서의 동작정지기능에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 정지신호과제에 대한 목표는 해당 과제의 수행을 준비시키고, 이로 인한 자동적 처리과정은 실행적 제어에 영향을 미치게 되어 동작의 실행과 정지기능을 향상시킨다고 하였다.

반면에 무선-정지신호과제에서는 연습 후 감소된 운동반응 시간이 나타났지만, 유의한 차이가 나타나지 않았다. Cohen과 Poldrack²⁶은 시열반응과제를 응용하여 반응정지가 운동반응의 자동화에 어떠한 영향을 주는지를 연구하였는데, 시열반응과제에서 반응정지는 이중과제(dual-task)로서의 기능으로 운동수행의 자동화에 이르게 하며, 운동수행을 제어하는 데에 영향을 주지 않는다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 반응정지가 운동기술의 발달에 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 정지신호가 무작위로 제시되는 과제에서는 정지신호에 대한 예측이 불가능하며, 반응정지의 성공여부에 따라 정지신호지연시간의 변화로 다음에 제시되는 자극에 대한 반응 준비 시간이 상대적으로 짧기 때문이다.²⁴ 또한, 과제의 목표는 진행 과제의 자극이 아니라 정지 과제의 정지신호에 대한 반응정지에 있기 때문에 진행 과제에 대한 수행은 상대적으로 빠른 반응을 유도하지 못하며, 진행 과정에서의 제시되는 자극에 대한 준비시간이 그만큼 적어진다고 할 수 있겠다.²⁵

각각의 과제에 따른 연습 전·후 정지신호반응시간의 변화에서 모든 집단에서 연습에 따라 정지신호반응시간이 유의하게 감소한 것은 정지신호의 제시 형태에 관계없이 정지 과제의 신체적 연습을 통하여 지각-운동성 기술을 바탕으로 시간이 경과하면서 운동학습으로 반응정지에 대한 내재적 정보를 이용하여 운동기술의 자동화 또는 습관화를 이끌어냈다고 할 수 있다.^{27,28} 진행 과제와 정지 과제를 동시에 포함하는 정지신호과제는 동작의 실행과 정지기능을 함께 평가하는 데에 유리하여, 많은 선행 연구에서 정지신호과제를 이용하여 동작의 정지기능에 대한 뇌신경학적 기전 및 행동패턴에 대한 연구들이 이루어져 왔다.²⁹⁻³¹ 또한, 반응정지에 대한 인지적 제어의 손상으로 임상에서는 파킨슨 병(Parkinson's disease)의 환자에서 요구되

는 동작정지기능이 비정상적으로 나타나는 것을 볼 수 있으며, 기저핵의 손상, 실행증 등과 같은 뇌 손상 환자에서 뿐만 아니라 발달장애 및 신경행동장애가 있는 아동에서도 반응정지 제어의 손상으로 인한 반응정지의 저하가 나타나 이에 대한 다양한 연구들이 진행되어 왔다.^{14,32-34}

선행 연구와는 달리 본 실험에서는 기존에 사용되어온 한정된 과제 즉, 정지신호가 무작위로만 제시되는 기본 과제를 응용하여 정지신호가 제시되는 형태에 따라 구분하여 운동반응시간과 정지신호반응시간을 알아보았다. 이는, 정지신호가 제시되는 형태에 따라 반응시간으로 나타나는 동작의 실행 및 정지기능은 다를 것이며, 연습에 따른 학습의 효과도 다르게 나타날 것이기 때문이다. 또한, 임상적으로 환자에게 적용하기 전에 정상인을 대상으로 정지신호 제시 형태에 따라 구분된 정지신호과제를 적용해 봄으로써 동작의 정지기능에 대한 평가를 통한 기초적인 자료를 제공할 뿐만 아니라 임상적인 프로토콜로서 세분화된 정지신호자극의 형태는 환자의 능력에 맞는 정지신호과제를 선택적으로 적용할 수 있을 것이며, 적합한 정지신호과제는 동작의 정지기능을 평가하고 향상시키는 데에 있어 효율적일 것이다. 앞으로의 연구에서는 보다 다양한 정지신호의 제시 형태로 반응정지의 준비와 예측에 관한 인지적 제어 기전의 연구가 이루어져야 하며, 동작의 정지기능이 손상된 뇌 손상 환자를 대상으로 반응정지에 관한 명확한 실행적 제어의 연구가 필요하다.

V. 결론

본 연구를 통하여 정지신호의 제시 형태에 따라 연습 후 동작의 실행 및 정지기능이 향상되었으며, 숙련된 정지 동작의 수행이 나타났다. 또한, 일정한 동작정지기능이 요구되는 상황에서는 예측가능-정지신호과제의 연습이 효과적이고, 가변성이 있는 동작정지기능이 요구되는 상황에서는 무선-정지신호과제의 연습이 효과적이다. 따라서 정상인을 대상으로 한 정지신호자극의 제시 형태에 따라 구분된 정지신호과제의 수행은 ‘정지신호’에 따른 과제의 적합성과 수행의 효율성에 따라 동작의 실행과 정지기능이 다르게 나타나며, 이는 임상적으로 손상된 뇌의 영역으로 나타나는 비적절한 운동반응에 대한 반응정지를 향상시키는 데에도 효과가 있을 것이다. 더불어 정지신호과제의 연습을 통한 운동학습은 반응에 대한 선택적 제어와 반응을 예측하기 위한 준비 과정에서도 주요한 역할을 한다고 할 수 있을 것이다.

Author Contributions

Research design: Kwon JW, Kim CS

Acquisition of data: Kwon JW, Nam SH

Analysis and interpretation of data: Kwon JW, Nam SH

Drafting of the manuscript: Kwon JW

Research supervision: Kim CS

Acknowledgements

본 논문은 권중원의 석사학위 논문 일부를 출판하였음.

참고문헌

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. *Neuroscientist.* 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. Barkley RA. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of adhd. *Psychol Bull.* 1997;121(1):65-94.
6. Logan GD. On the ability to inhibit thought and action: A user's guide to the stop signal paradigm. San Diego, Academic Press, 1994: Pages.
7. Band GP, van der Molen MW, Logan GD. Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychol (Amst).* 2003;112(2):105-42.
8. Verbruggen F, Logan GD. Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends Cogn Sci.* 2008;12(11):418-24.
9. 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.
10. Verbruggen F, Logan GD. Models of response inhibition in the stop-signal and stop-change paradigms. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009;33(5):647-61.
11. Won JY, Kim EJ. Validation of stop-signal task. *Journal of Korean Psychological Association.* 2008;27(1):217-34.
12. Chevrier AD, Noseworthy MD, Schachar R. Dissociation of response inhibition and performance monitoring in the stop signal task using event-related fmri. *Hum Brain Mapp.* 2007;28(12):1347-58.
13. Rubia K, Smith AB, Brammer MJ et al. Right inferior prefrontal cortex mediates response inhibition while mesial prefrontal cortex is responsible for error detection. *Neuroimage.* 2003;20(1):351-8.
14. van den Wildenberg WP, van Boxtel GJ, van der Molen MW et al. Stimulation of the subthalamic region facilitates the selection and inhibition of motor responses in parkinson's disease. *J Cogn Neurosci.* 2006;18(4):626-36.
15. Bekker EM, Overtom CC, Kooij JJ et al. Disentangling deficits in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Arch Gen Psychiatry.* 2005;62(10):1129-36.
16. Chamberlain SR, Fineberg NA, Blackwell AD et al. Motor inhibition and cognitive flexibility in obsessive-compulsive disorder and trichotillomania. *Am J Psychiatry.* 2006;163(7):1282-4.
17. Enticott PG, Ogloff JR, Bradshaw JL. Response inhibition and impulsivity in schizophrenia. *Psychiatry Res.* 2008;157(1-3):251-4.
18. Goudriaan AE, Oosterlaan J, de Beurs E et al. Neurocognitive functions in pathological gambling: A comparison with alcohol dependence, tourette syndrome and normal controls. *Addiction.* 2006;101(4):534-47.
19. Monterosso JR, Aron AR, Cordova X et al. Deficits in response inhibition associated with chronic methamphetamine abuse. *Drug Alcohol Depend.* 2005;79(2):273-7.
20. Nigg JT, Wong MM, Martel MM et al. Poor response inhibition as a predictor of problem drinking and illicit drug use in adolescents at risk for alcoholism and other substance use disorders. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry.* 2006;45(4):468-75.
21. Claffey MP, Sheldon S, Stinear CM et al. Having a goal to stop action is associated with advance control of specific motor representations. *Neuropsychologia.* 2010;48:541-8.
22. Jahfari S, Stinear CM, Claffey M et al. Responding with restraint: What are the neurocognitive mechanisms? *J Cogn Neurosci.* 2009;22(7):1479-92.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Cohen JR, Poldrack RA. Automaticity in motor sequence learning does not impair response inhibition. *Psychon Bull Rev.* 2008;15(1):108-15.
27. Seger CA. Implicit learning. *Psychol Bull.* 1994;115(2): 163-96
28. Lee MY, Park RJ, Nam KS. The effect of implicit motor sequence learning through perceptual-motor task in patients with subacute stroke. *J Kor Soc Phys Ther.* 2008;20(3):1-8.
29. Carter JD, Farrow M, Silberstein RB et al. Assessing inhibitory control: A revised approach to the stop signal task. *J Atten Disord.* 2003;6(4):153-61.
30. Li CS, Zhang S, Duann JR et al. Gender differences in cognitive control: An extended investigation of the stop signal task. *Brain Imaging Behav.* 2009;3(3):262-76.
31. van der Schoot M, Licht R, Horsley TM et al. Effects of stop signal modality, stop signal intensity and tracking method on inhibitory performance as determined by use of the stop signal paradigm. *Scand J Psychol.* 2005; 46(4):331-41.
32. Aron AR, Poldrack RA. Cortical and subcortical contributions to stop signal response inhibition: Role of the subthalamic nucleus. *J Neurosci.* 2006;26(9):2424-33.
33. Rieger M, Gauggel S, Burmeister K. Inhibition of ongoing responses following frontal, nonfrontal, and basal ganglia lesions. *Neuropsychology.* 2003;17(2):272-82.
34. Seiss E, Praamstra P. The basal ganglia and inhibitory mechanisms in response selection: Evidence from subliminal priming of motor responses in parkinson's disease. *Brain.* 2004;127(Pt 2):330-9.