

# 지능의 생리적 측정치로서의 EOG의 검출 및 분석에 관한 연구

박상준<sup>°°</sup>, 임재중<sup>\*</sup>, 하대현<sup>\*\*</sup>

인제대학교 보건대학 의용공학과<sup>\*</sup>  
숙명여자대학교 문과대학 교육심리학과<sup>\*\*</sup>

## A Study for the Extraction and Analysis of EOG as a Physiological Measure of Intelligence

Sang Joon Park<sup>°°</sup>, Jae Joong Im<sup>\*</sup>, Dae Hyun Ha<sup>\*\*</sup>

Dept. of Biomedical Engineering, Inje University<sup>\*</sup>  
Dept. of Pedagogical Psychology, Sookmyung Women's University<sup>\*\*</sup>

### 요 약

많은 생리적 지능 연구자들은 생체신호 또는 생리적 측정치들을 지능의 새로운 측정치로서 제안하고 있는데, 이들의 기본 가정은 현재의 지능검사는 교육, 가정의 양육태도, 부모의 사회경제적 지위와 같은 문화적 요인에 의해 크게 좌우되므로 지능의 편파적인 측정치가 될 수밖에 없고, 이러한 요인에 가장 적게 영향받는 생리적 측정치만이 순수한 지능 측정치가 될 수 있다는 것이다. 따라서, 본 연구는 이러한 생리적 신호들 중 EOG(electro-oculograph)를 이용하여 안구의 움직임 기록함으로써 피검자의 문제해결을 위한 집중력과 이해력 등을 알아보고자 하였다. 또한, 피검자의 정보처리과정을 알아보기 위해 반응시간(RT, reaction time)을 측정하였다. 17명의 건강한 남녀 학생들이 실험에 참여하였으며, 첫단계로 Raven's Advanced Matrices 검사와 IQ 검사를 실시하고, 검사 결과에 근거하여 각각을 세 그룹으로 나누었다. 두번째 단계로는 슬라이드로 제작된 도형유추과제를 푸는 동안 EOG와 RT를 측정하였다. IQ 검사 점수, RT, 그리고 EOG로부터 추출된 변수들 간의 상관관계를 구하기 위해 GLM(general linear model) 및 Duncan's multiple range test를 위한 통계분석을 수행하였다. 분석결과를 통하여 도형유추과제의 난이도가 높을수록 EOG변수들에 의한 지능점수의 분류능력이 높음을 알 수 있었으며, Raven그룹보다는 IQ그룹에 대한 분류가 더욱 잘 이루어졌음을 발견하였다. 그리고, RT는 Raven그룹과 IQ그룹 모두에서 높은 변별력을 나타내고 있음을 확인하였다.

### 서 론

최근 심리검사에서 생리적 지능연구는 이제 시작단계에 있지만, 이 연구들이 지니는 이론적이고 실용적인 중요성 때문에 가

까운 장래에는 생리적 측정치들이 지능뿐만 아니라 성격, 흥미, 태도 등의 개인차를 측정 진단하는 데에도 광범위하게 사용될 것임을 예측하고 있다[1]. Jensen[2,3]은 그의 '정신의 시간측정학' 연구를 통해서 단순한 과제의 반응시간(RT, Reaction Time)이 심리측정학적인 g(지능의 일반요인)와 유의하게 상관되기 때문에 RT는 탈문화화된 지능의 새로운 측정치로 사용될 수 있음을 강조하고 있다. 더구나 단순한 과제에 대한 RT의 개인차는 다른 어떤 원인보다도 개인의 생리적 기능의 효율성의 차에서 더 크게 비롯되기 때문에, 결국 g의 개인차는 생리적인 요인에 의해 초래될 가능성이 높다고 주장하고 있다.

실제로 최근 지능 연구에서는 g측정치들이 뇌파(EEG), 유발전위(EP, Evoked potential), 신경전달속도(NCV, Nerve Conduction Velocity)등과 같은 생체 신호 측정치들과 유의하게 상관된다는 결과들이 보고되고 있다[4-10]. 즉, 뇌의 좌반구와 우반구의 대칭성의 정도가 그 사람의 인식능력을 나타내는 척도가 될 수 있다는 연구가 수행되었으며, 청각유발전위(AEP, Auditory Evoked Potential)의 변산과 성인용 지능검사인 WAIS(Wechsler Adult Intelligence Scale)점수간의 상관계수가 0.72의 높은 상관관계에 있음도 발표되었다[11-12]. 그리고, Reed[13]는 신경전달속도(NCV)와 대표적인 탈문화한 지능검사인 Raven's Progressive Matrices Test간에는 0.37의 상관계수를 나타냄을 보고하였다.

그 외에도 여러 가지의 생체신호가 이용될 수 있겠지만 그 중에서도 피검자가 과제를 풀어나가는 전략(strategy)을 기준해서 지능점수를 부여하기 위하여 안구의 움직임을 추적하는 방법이 있다. 이는 주어진 지능 테스트의 문제를 풀어나갈 때, 피검자의 눈동자의 움직이는 형태를 관찰함으로써 문제 해결을 위한 피검자의 집중력과 이해력 등을 정량화 할 수 있다는 것이다. 즉, 지능이 매우 높은 사람, 지능이 매우 낮은 사람, 그리고 평균치의 지능지수를 보이는 사람들을 대상으로 동일한 시각적 과제를 주었을 때 그 문제를 풀어나가는 과정, 예를 들어 눈동자의 움직이는 방향, 일정 부분에서 시선이 머무르는 시간 등의

패턴을 비교함으로써 피검자들을 구분할 수 있는 기준을 설정할 수 있게 될 것이라는 가정을 할 수 있는 것이다.

본 연구는 지능의 생리적 측정을 통하여 지능의 개인차를 밝히기 위한 생체신호로서 EOG를 검출하고, 추출된 변수들과 기존의 지능테스트인 Raven's Advanced Matrices 검사와 한국교육개발원의 지능검사 결과를 종합, 분석함으로써 새로운 지능측정 방법을 개발하고자 하는데 그 목적이 있다. 즉, 검출된 EOG신호들로부터 변수들을 추출하고 정량화 하여 지능 테스트를 통하여 얻어진 IQ점수와 정보처리 속도를 나타내는 RT 테스트의 결과를 비교, 분석함으로써 이들 사이의 통계학적인 상관관계를 수립하여 이를 지능을 나타내는 새로운 지수(index)로 이용하고자 하였다.

**실험 방법**

본 연구에 참여한 피검자들은 인제대학교에 재학 중이며 교양 과목으로 개설한 심리학개론 교과목을 수강하는 17명의 학생들(남자 13명, 여자 4명)로서 실험에 자발적으로 참여하였다. 실험은 세단계로 나누어 실시하였다. 첫 번째 단계에서는 집단으로 실시된 Raven's Advanced Matrices 검사를 풀었고, 이를 후 두 번째 단계에서는 한국교육개발원의 집단지능검사를 실시하였다. 일주일 후부터 시작된 세 번째 단계에서는 도형유추과제를 푸는 과정에서의 RT 및 EOG를 검출하는 실험을 실시하였다.

**지능검사**

지능검사는 모두 세가지 종류를 사용하였다. Raven검사는 비언어적 추리능력을 알고자하는 대표적인 탈문화 검사로서 일반요인(g)과는 높은 상관관을 나타내며, 특히 RT와 일반 지능간의 관계연구에서 가장 많이 사용되는 참고검사이다. 그리고, 두번째 검사인 한국교육개발원에서 개발한 지능검사(박경숙외, 1993)는 언어검사, 수 검사 그리고 도형검사의 세 종류로 구성되어있으며, 본 연구에서는 대학교용(B형)을 사용하였다. 세번째 검사종목인 도형유추과제는 슬라이드로 제작되었으며 RT 및 EOG의 검출과 병행하여 실시하였다. 이것은 네개의 도형이 수평으로 일정한 간격을 두고 있으며 등호표시를 중심으로 앞부분 2개의 도형의 관계와 뒷부분 2개의 도형의 관계가 같은지 그른지를 판단해야하는 과제으로써, 피검자는 그 관계가 같다고 판단하면 버튼장치의 정답버튼을, 반대로 틀리다고 판단되면 오답버튼을 누르도록 하였다. 제시되는 도형유추과제는 총 72문항이며, 한 문제를 푸는 시간은 12초로 제한하였다.

**실험 장비**

본 연구를 위한 EOG 및 RT측정 시스템의 구성은 슬라이드장치, 버튼장치, EOG측정장치, A/D 변환기, 컴퓨터로 구분되며 전체 블록 다이어그램이 그림 1에 나타나있다.

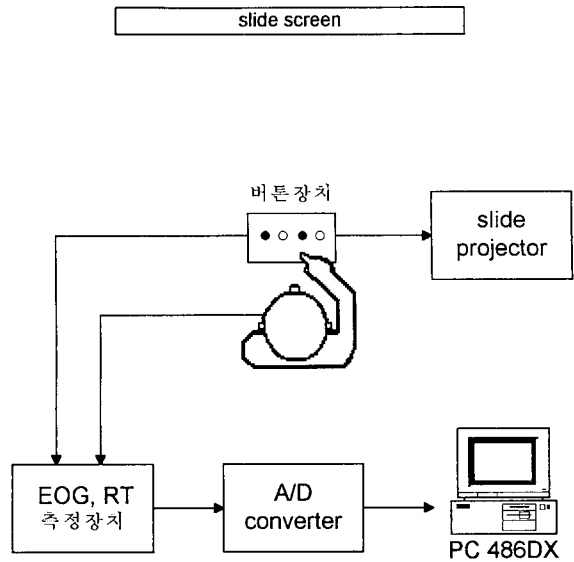


그림 1. EOG 및 RT의 측정을 위한 시스템의 block diagram

슬라이드 프로젝터로부터 스크린에 제시되는 과제에서 나타나는 보기의 위치는 피검자가 중심점을 바라볼 때를 기준으로 하여 우측에 있는 두개의 보기를 바라보는 시선각도를 5°와 10°가 되게 하였고, 좌측의 문제 도형을 바라보는 시선각도는 이와 대칭이 되도록 하였다.

과제를 풀어나가는 과정에서의 RT와 MT(Movement Time)를 측정하기 위해서 제작된 버튼장치는 모두 네개의 버튼으로 구성되어 있다. 가장 좌측에 있는 버튼은 슬라이드의 진행 스위치와 연결되어 있으며, 나머지 3개의 버튼 중에서 오른쪽 버튼은 정답버튼으로 왼쪽 버튼은 오답버튼으로 사용했다. 중앙의 버튼은 좌우의 정답버튼을 누르기에 앞서 항상 피검자가 한 손가락을 올려놓고 있도록 하였다. 슬라이드 버튼을 제외한 3개의 버튼 중 중앙의 버튼과 오른쪽의 정답버튼은 +5V, 그리고 왼쪽의 오답버튼은 -5V의 출력전압을 가진다. 그러므로 각 버튼을 누를 때마다의 출력전압이 입력되어 피검자가 누른 버튼의 종류 및 시간을 측정할 수 있도록 하였다.

안구의 움직임에 대한 정보를 얻기 위하여 EOG의 검출을 위한 하드웨어를 제작하였다. 즉, 전극으로부터 변환된 전기신호(CRP, corneal-retinal potential)는 차동증폭기와 3Hz의 저역통과필터를 통과함으로써 불필요한 신호 성분들을 제거하였다. 전극은 양쪽 눈의 외부안각(外部眼角, outer canthus)에 위치하여 안구의 수평 움직임을 알 수 있도록 하였는데, 전극으로는 은-염화은(Ag/AgCl) 표면전극을 사용하였으며 이마와 양쪽 눈의 바깥쪽에 부착하였다. 즉, 피검자가 좌우 각각 2개씩의 보기를 바라봤을 때 나타나는 EOG출력신호는 중심을 바라봤을 때를 0V로 하여 오른쪽으로는 0.1V, 0.2V로 각각 증가되었고, 왼쪽의 보기를 바라봤을 때는 -0.1V, -0.2V로 각각 감소되었다. 그러므로, EOG출력신호를 통해 피검자의 시선이 과제의 어떤 위치

에 머무르고 있는가를 알 수 있도록 하였다.

데이터 처리 및 분석

데이터 수집

데이터수집을 위한 피검자로 선택된 17명의 대학생들은 모두 두 가지의 집단지능검사를 마친 학생들이었다. 피검자가 의자에 앉으면 전극을 부착시킬 위치를 알코올로 충분히 문지른 후 이마의 중앙에 기준전극을 붙이고, 양쪽 눈의 가장자리에 대칭이 되도록 각각 한개씩의 전극을 붙였다. 피검자가 실험이 진행되는 동안 가장 편안한 상태를 유지할 수 있도록 얼굴 고정대를 원하는 높이로 조정하였다. 또한, 의자에 앉은 피검자의 얼굴이 움직이는 것을 방지하기 위하여 턱과 뺨을 받칠 수 있는 고정대와 머리를 고정할 수 있는 머리띠를 고정대에 부착하여 피검자에게 착용토록 하였으며 그림 2에 실험준비를 마친 피검자에 대한 사진이 나타나 있다.



그림 2. 전극을 부착한 상태로 얼굴 고정대에 얼굴을 고정하고 있는 피검자의 모습.

실험에 들어가기에 앞서서 전극을 붙인 상태로 실험에 대한 간단한 설명을 하고, 피검자가 본 실험을 할 수 있을 때까지 연습 문제를 제시해 충분히 연습하도록 하였다. 연습문제는 총 7문제를 제시했으며 피검자가 실험방법을 숙지할 때까지 반복 시행하였다. 본 실험에서는 피검자가 과제를 풀어나갈 때 EOG신호 및 RT와 MT를 동시에 측정하였다. 즉, 피검자에게 스크린에 과제가 제시되자마자 앞에 놓여진 버튼 장치의 중앙버튼을 누르도록 하였고, 그 상태에서 각 과제에 대한 정답과 오답을 판단해서 중앙의 버튼을 뺐 후 좌우의 정답에 해당하는 버튼을 누르도록 하였다. 이 때 피검자는 항상 한 손가락만을 사용하도록 하였다. 데이터는 12-bit A/D 변환기의 3개의 채널을 사용하여 100Hz의 샘플링 주기로 12초동안 수집되었다.

지능검사의 결과에 근거하여 피검자들을 분류하였으며, Raven's Matrices 검사 점수의 결과와 IQ 점수에 대한 결과를 각각 세 그룹으로 나누었다. 데이터 수집을 거쳐서 컴퓨터에 저장된 버튼 장치의 출력 및 EOG는 RT 및 MT를 계산하고, 변수를 추출하는 과정을 거치게 된다. 그리고, 지능검사의 결과치는 추출된 변수들과 함께 통계처리 됨으로서 그 관계의 유효성을 증명하고자 하였다.

변수추출

버튼 장치의 출력(중앙버튼 및 응답버튼)으로부터 RT와 MT가 계산되었으며, 수집된 EOG로부터 변수들이 추출되었다. RT는 중앙버튼을 누른 상태에서 피검자가 문제를 해결하고 응답버튼을 누르기 위해 중앙버튼에서 손가락을 떼는 순간까지의 시간으로 계산되었으며, 그 시간으로부터 응답버튼의 출력이 나타나는 순간까지의 시간이 MT로 계산되었다. 그리고, EOG의 변수는 문제가 제시된 시점부터 RT까지의 시간안에 나타난 데이터로 부터 추출하였으며, 그림 3에 버튼 장치의 출력 및 EOG의 한 예가 나타나 있다.

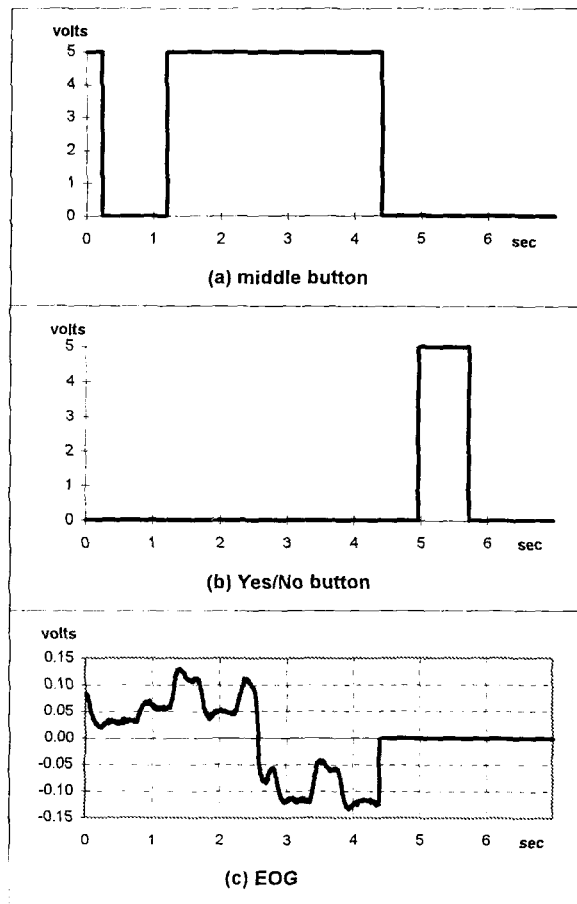


그림 3. 실험을 통해 검출된 버튼 장치의 출력 및 EOG

변수들로서는 문제에 시선이 머무르는 시간 ( $T_0$ ), 보기에 시선이 머무르는 시간 ( $T_E$ ), 문제 사이에서 시선이 왕복되는 횟수 ( $N_0$ ), 보기 사이에서 시선이 왕복되는 횟수 ( $N_E$ ), 문제와 보기 사이에서 시선이 왕복되는 횟수 ( $N_{0E}$ )를 선택하였다.

**통계분석**

추출된 변수들의 전체적인 흐름을 파악하고, 각 변수들이 실험군의 형성에 기여하는 정도를 알기 위하여 통계분석을 수행하였다. 우선 불평형 상태의 데이터에 대한 대표적인 분석방법인 GLM(general linear model)을 이용하여 RT, MT 및 EOG 변수들이 지능검사의 결과에 의해 나누어진 그룹들을 구분할 수 있다는 가정에 대한 테스트를 하고자 하였다. 분석을 위한 모델로서는 지능점수에 의하여 구분된 그룹들을 고정인자(fixed variable)로 놓고, 난이도에 의하여 구분된 과제들의 그룹을 우연인자(random variable)로 놓는 two-way classification의 방법을 사용하였다. 그리고, Duncan's Multiple Range Test를 통하여 GLM의 결과에서 나타난 민감한 변화를 보이는 변수들이 지능점수 그룹을 어떻게 분류하는가를 알아내고자 하였다.

**결과 및 고찰**

검출된 EOG로부터 변수들을 추출하고, 과제를 해결하는데 걸리는 반응시간을 측정하여, 이들과 기존의 지능검사를 통하여 얻어진 지능점수와의 상관관계를 찾고자 하였으며, GLM 및 Duncan's Multiple Range Test의 결과가 표1에 요약되어 있다.

Raven그룹과 IQ그룹에서의 RT와 EOG 변수들의 평균값의 차이가 영(0)이라는 가설에 대한 F-value 및 그에 따른 probability값이 표에 나타나 있다. 이는 0.05 significant level에서 매우 높은 유의성을 보이고 있으며, RT 및 EOG 변수들이 지능검사결과에 대한 변별능력이 높음을 나타내고 있다. Duncan's multiple range test에 의한 grouping의 결과를 보면 Raven 그룹에서는 중간의 점수를 가진 그룹2가 하위와 상위 그룹인 그룹 1 및 그룹3과 대체적으로 잘 분류되고 있음을 알 수 있다. 그러나, 점수의 높고 낮음을 기준으로 하여 그룹을 상중하로 나누었으므로 중간점수 그룹만을 분류하고 있다는 데는 큰 의미가 없을 것이다. IQ그룹의 경우에는 EOG3의 NQE와 EOG2의 RT가 1, 2, 3그룹을 잘 구별하였지만, 다른 변수들은 세 그룹을 각각 구별하지는 못하였다. 그러나, RT와 모든 EOG 변수들이 IQ점수의 상중하를 그 순서대로 분류하고 있음을 볼 수 있고, 이는 RT 및 EOG 변수들이 IQ그룹을 상중하로 분류하는데 유용하게 이용될 수 있음을 의미하며, 각 변수들의 평균값들을 비교함으로써 확인할 수 있었다.

도형유추과제의 난이도에 의해 구분된 EOG1, EOG2, EOG3, 그리고 각각의 경우에서 IQ그룹별로 분류하였을때의 EOG 변수들의 평균값의 변화추세를 그림 4에 나타냈다. 비록 EOG의 각 변수들이 세 IQ그룹을 모두 구별 할 수는 없었지만, 각 변수들에 대한 평균값을 산출하였을 때 각 그룹내에서 지능점수가 높아질수록 변수들의 평균값은 점점 낮아지고 있음이 나타나고 있다. 결국, RT 및 EOG 변수를 이용하여 지능차이를 구분할 때 Raven그룹보다는 IQ그룹에 대한 변별력이 더 높으며, 지능점수가 높은 그룹일수록 문제를 푸는 시간과 시선의 왕복횟수가 줄어드는 것을 알 수 있었다.

표 1. GLM 및 Duncan's Multiple Range Test 분석 결과의 요약

		Raven Group						IQ Group					
		RT	TQ	TE	NQ	NE	NQE	RT	TQ	TE	NQ	NE	NQE
EOG 1	F-value	16.37	10.15	4.37	10.32	3.09	5.43	12.28	15.40	9.48	5.93	5.54	5.19
	Prob > F	0.0001	0.0002	0.0183	0.0002	0.0552	0.0076	0.0001	0.0001	0.0004	0.0051	0.0070	0.0093
	Grouping	2 3 1	2 3 1	2 3 1	2 1 3	2 1 3	2 3 1	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
EOG 2	F-value	24.09	23.54	8.43	7.96	4.89	5.16	22.96	21.96	9.48	7.64	6.62	7.87
	Prob > F	0.0001	0.0001	0.0008	0.0011	0.0118	0.0095	0.0001	0.0001	0.0004	0.0014	0.0030	0.0012
	Grouping	2 3 1	2 3 1	2 3 1	2 3 1	2 1 3	2 3 1	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
EOG 3	F-value	13.95	13.27	2.95	6.80	2.30	11.07	22.19	21.00	14.46	6.26	12.36	10.08
	Prob > F	0.0001	0.0001	0.0621	0.0026	0.1113	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0040	0.0001	0.0002
	Grouping	2 3 1	2 3 1	2 3 1	2 1 3	2 3 1	2 1 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3

\* Grouping에서 함께 밀쳐진 그룹은 0.05 significant level에서 유의하게 분류되지 않았음을 의미함.

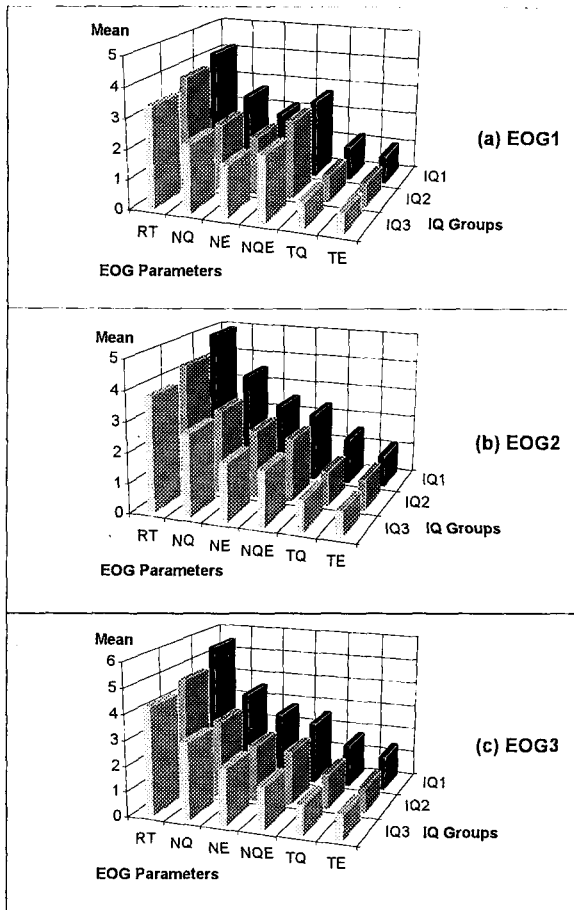


그림.4 과제의 난이도(EOG1, EOG2, EOG3) 및 IQ그룹(IQ1, IQ2, IQ3)들에 대한 RT와 EOG 변수들의 평균값

결론

본 연구의 결과를 바탕으로 도형유추과제의 디자인에 있어서 문제의 유형을 난이도에 근거하여 조정한다면 IQ그룹의 더욱 세분화된 분류가 가능할 것이며, 현재 사용되고 있는 지능 측정방법의 장단점을 보완한 새로운 지능측정 시스템의 개발이 가능해질 수 있다는 점에서 볼때 기대되는 효과는 크다 할 수 있다. 뿐만 아니라, 생체신호와 뇌기능의 유지를 위한 생체항상성과의 관계, 생체신호를 검출하여 정량화 할 수 있는 새로운 지능측정방법의 개발을 위한 연구등이 수행될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구의 결과에 근거하여 단순 과제에 대한 RT의 개인차가 개인의 생리적 기능의 효율성의 차이에 기인하는지를 밝히고, 특히 g와 생체신호간의 상관 결과를 전통적인 검사 점수의 개인차가 유전적, 생리적 원인에 있는지를 밝히는데 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Matarazzo, J. D. Psychological testing and assessment in the 21st century. *American Psychologist*, 47(8):1007-1018. 1992

[2] Jensen, A. R. The chronometry of intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*. 1:255-310. Hillsdale, NJ: Erlbaum.1982

[3] Jensen, A. R. The nature of the black-white difference on various psychometric tests: Spearman's hypothesis. *The Behavioral and Brain Sciences*, 8:193-263.1985

[4] Eysenck, H. J. Speed of information processing, reaction time, and the theory of intelligence. In P. A. Vernon(Ed.), *Speed of information processing and intelligence*. Norwood, NJ: Ablex.1987

[5] Jensen, A. R. General mental ability: From psychometrics to biology. *Diagnostic*. 16:134-144.1991

[6] Levine, G., Preddy, D., & Thorndike, et al. Speed of information processing and level of cognitive ability. *Personality and Individual Differences*, 8:599-607.1987

[7] McGarry-Roverts, P. A., Stelmack, et al. Intelligence reaction time, and event-related potentials. *Intelligence*, 16:289-313.1992

[8] Vernon, P. A. The use of biological measures to estimate behavioral intelligence. *Educational Psychologist*, 25:293-304.1990

[9] Vernon, P. A., & Mori, M. Physiological approaches to the assessment of intelligence. In C. R. Reynolds & R. W. Kamphaus(Eds.), *Handbook of psychological and educational assessment of children: Intelligence and achievement*(389-402). New York: Guilford Press. 1990

[10] Vernon, P. A., & Mori, M. Intelligence, reaction times, and peripheral nerve conduction velocity. *Intelligence*, 16:273-288. 1992

[11] A. Gevins. *Cerebral Hemisphere Asymmetry: Method, Theory and Application - Brain Potential Evidence for Lateralization of Higher Cognitive Functions*. Praeger Press, 1983.

[12] P.F. Anthony, R. Durrett, J.L. Pulec, et al. A New Parameter in Brain Stem Evoked Response: Component Wave Areas. *Laryngoscope*, 89:1569-1578, 1979.

[13] Reed, T. E., & Jensen, A. R. Arm nerve conduction velocity(NCV), brain NCV, reaction time, and intelligence. *Intelligence*, 15:33-47. 1991