

Evaluation of an Ergonomic Gaze Fixation Induction Method for Effective Visual Field Testing

Jihyoung Lee¹, Baekhee Lee¹, Yeona Kim¹, Hyunji Park¹, Jaheon Kang³, and Heecheon You^{1,2}

¹Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

²Department of Creative IT Excellence Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

³ Kyung Hee University International Medical Service, Seoul, 134-727

ABSTRACT

Objective: The present study is to develop and evaluate an ergonomic gaze fixation induction method for applying a visual field testing system. **Background:** Glaucoma which is progressive visual field defects in the ophthalmology has been screened by visual field examination. For accurate visual field testing result, it is important to fix a patient's line of sight to a center point on visual field testing area. However, the existing visual field tester's reliability is low because there is lack of inducing patient gaze fixation. **Apparatus:** To conduct the gaze fixation performance testing, the present study used a PC monitor, an input keypad, and a chin support and a visual field testing S/W applied with 24-2 threshold method (Paolo, 2006). **1st pilot test:** The result of eye fixation performance and subjective satisfaction (7-point scale) for eye fixation targets applied with different color, alphanumeric, and shape showed no significances. **2nd pilot test:** 5 and 10 Hz flashing dots of 0, 1, 5, and 10 Hz flashing dots as eye fixation targets had better subjective satisfactions (3-point scale) than those of the remainder. **Final test:** Eye fixation targets applying flash rate and shape factor including previous eye fixation targets (reference dot and flashing dot) are to be evaluated for the eye fixation performance (fixation error rate, fixation loss rate) and subjective satisfaction (easy gaze fixation, testing concentration, eye fatigue, and overall satisfaction) on 40 people (20 ~ 70 age groups). **Conclusion:** The flashing dot was the best gaze fixation for high testing accuracy during visual field testing. **Application:** The ergonomic gaze fixation induction method is expected to be used for glaucoma diagnosis with visual field examination.

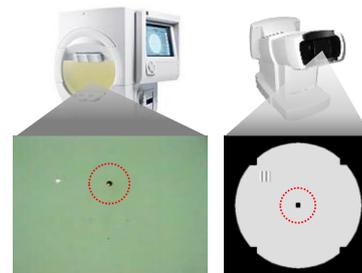
Keywords: Visual field test, Gaze fixation induction method, Eye tracking, Glaucoma

1. Introduction

녹내장(glaucoma)은 시신경 손상에 의해 발생된 시야결손이 진행되어 결국 실명에 이르는 안과 질환으로 시야검사를 통해 진단된다. 2010년 전세계 녹내장 환자 수는 약 6천만 명으로 2020년에는 약 8천만 명까지 연평균 10% 수준의 증가가 추정되고 있어, 녹내장 치료방법에 대한 관심이 증대되고 있다(Quigley and Broman, 2006). 녹내장에 의해 손상된 시신경은 시신경 세포를 재생시키는 치료방법이 없기 때문에, 조기 진단에 의한 지속적인 약물 치료와 관리를 함으로써 녹내장 진행속도를 지연시켜 실명을 예방하는 것이 최선이다(김명훈 외, 2011).

시야검사(visual field testing)는 시야검사자가 시선을 한 곳에 고정시킨 상태에서 시각이 형성되는 범위인 시야를 측정하는 검사로, 정확한 시야검사를 위해서는 검사화면의 중심에 시선을 고정시키는 것이 중요하다. 기존 시야

검사기는 상하좌우 30° 영역을 포함하는 중심시야와 30 ~ 60° 또는 그 이상의 영역을 포함하는 주변시야가 측정되도록 다양한 pattern이 탑재되어 있으나, 시야검사자의 시선고정을 유도할 수 있는 방법은 부재하다(Dersu et al., 2006).



(a) HFA™ II-i Series (b) Matrix™

Figure 1. Eye fixation target of perimeters

기존 시야검사방법은 gold standard perimeter인 Humphrey® Field Analyzer /HFA™ II-i Series(Carl Zeiss Meditec., USA)의 경우 bowl의 중앙에 설치된 작은 전구를, Humphrey® Matrix™ (Carl Zeiss Meditec., USA)의 경우 시야 검사화면 중앙에 검은 점 형태를 응시하도록 유도되어 수행된다(Figure 1). 일부 시야검사는 시야검사자의 눈동자 위치를 추적할 수 있는 gaze tracking 시스템이 설치되어 있다(Humphrey® Field Analyzer II-i series User Manual, 2005). 기존 시선고정 방법은 임상에서 검사진행자의 구두 지시와 함께 병행되고 있어 비효과적이다.

시야검사 시 깜박이는 형태로 제시되는 시표는 안구의 도약 운동(saccadic movement)을 유발시킬 가능성이 높기 때문에, 특별한 자극 없이 시선을 한 지점에 장시간 유지시키기 쉽지 않다. 안구운동은 한 점을 응시한 상태에서 미세하게 움직이는 미세운동(fine movement), 5°/sec 이하의 속도로 움직이는 대상물을 추적하는 추적운동(pursuit movement), 5°/sec 이상의 속도로 움직이는 대상물을 추적하는 도약 운동(saccadic movement)으로 구성된다(김창희와 이동춘, 1995). 임상에서 일반적으로 사용되는 시야검사 pattern의 시표는 검사화면의 중심으로부터 3°, 9°, 15°, 21°, 그리고 27° 거리에 나타나기 때문에, 시표가 제시될 때 3° 위치의 시표를 제외한 모든 시표는 5°/sec 이상의 속도로 움직이는 대상물로 인지될 수 있다. 따라서, 시표로 유발되는 안구의 도약운동을 방지하기 위한 효과적인 시선고정 유도방법의 개발이 필요하다.

본 연구는 효과적인 시야검사를 위해 인간공학적 시선고정 유도방법을 개발하고 평가한다. 첫째, 본 연구는 시각적 자극 요소를 활용하여 시선을 유도할 수 있는 시선고정용 시표를 개발한다. 둘째, 본 연구는 개발된 시선고정용 시표의 유형에 따른 시선고정 성능을 평가한다. 마지막으로, 본 연구는 시야검사 중 시선고정용 시표 형태에 따른 안구운동의 특성을 파악한다.

2. Apparatus

2.1 Hardware

본 연구의 시선고정 성능평가 장치는 PC monitor, 입력 keypad, 그리고 chin support로 구성된다(Figure 2). 첫째, PC monitor(19 inch, Flatron L1940 plus, LG electronics; pixel pitch = 0.294 mm)는 시야검사자의 시야영역을 측정하기 위한 시표를 제시하는데 사용되었다. 둘째, 입력 keypad는 시야검사자가 monitor 화면에 제시되는 시표의 확인여부를 입력하는데 사용되었다. 마지막으로, chin support는 시야검사자의 턱을 고정시킴으로써 시야검사자가 정확하고 편안한



Figure 2. Eye fixation performance testing system - hardware

상태로 시야검사를 수행하는데 사용되었다.

2.2 Software

본 연구에서 사용된 시선고정 성능평가 software는 Humphrey visual field (HVF) perimeter의 시야검사 pattern 중 24-2 threshold test 방법(Paolo, 2006)을 기반으로 다양한 중심시표 유형을 선택하여 중심시야를 평가할 수 있도록 설계되었다(Figure 3). 시야검사영역은 중심시표로부터 상하 24°, 좌우 30°내 영역으로 설정되었고, 시표의 개수는 단안의 경우 총 55개(주변시표 54개, 맹점시표 1개)로 구성되었다. 시선고정 성능평가 실험에서 제시되는 총 시표의 개수는 시야검사용 주변시표 54개의 각 1회와 시선고정 오류율(fixation error rate, %) 측정을 위한 맹점시표 10회를 합하여 총 64회 제시되는 시표들이 무작위 순서로 제시되었다. 각 시표의 제시간격은 기존 시야검사기 중 HVF의 시표 제시간격과 동일한 1초로 적용되었다.

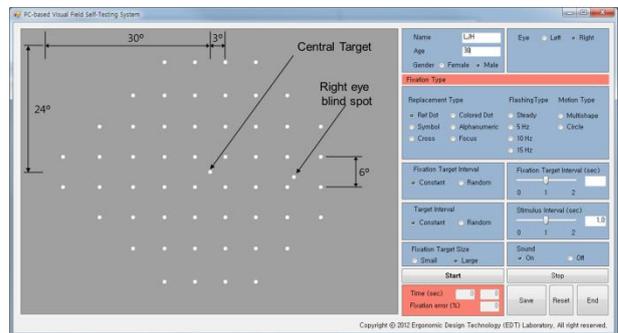


Figure 3. Eye fixation performance testing system – software

3. Experiment

3.1 1st pilot test

Sanders and McCormick(1993)의 시각적 코드화 요소 중 color, alphanumeric, 그리고 shape 요소를 활용하여 시선고정을 유도하기 위한 시선고정 방법을 개발하였다(Figure 4). 개발된 시선고정 방법의 시선고정용 시표들은 시야검사를 위한 시표가 제시될 때마다 다른 시표(예: 빨간색 점 → 주황색 점 → 보라색 점)로 무작위 변경되도록 하였다. 고안된 중심시표들에 대한 시선고정 성능평가 실험은 실험 준비, 시야검사 연습, 시야검사, 그리고 debriefing 순서로 구성된 4단계 실험절차에 따라 시야결손이 없는 정상인 10명을 대상으로 진행되었다(Figure 5).

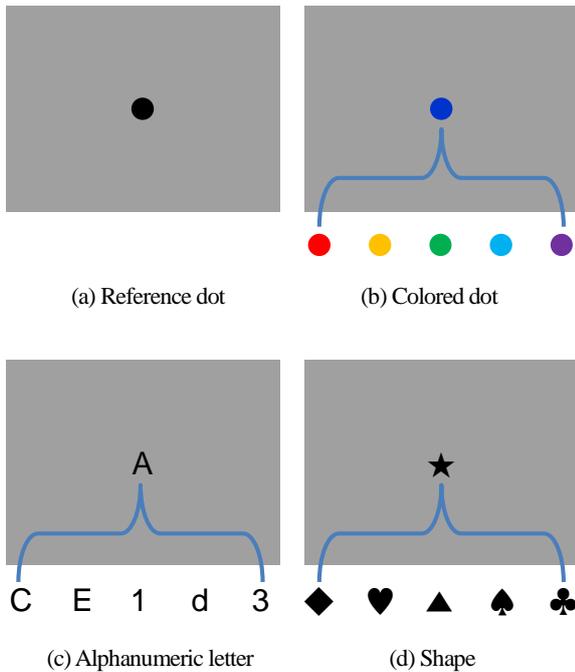


Figure 4. Eye fixation targets

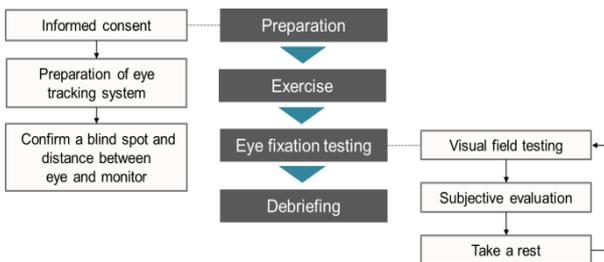


Figure 5. Eye fixation performance experiment

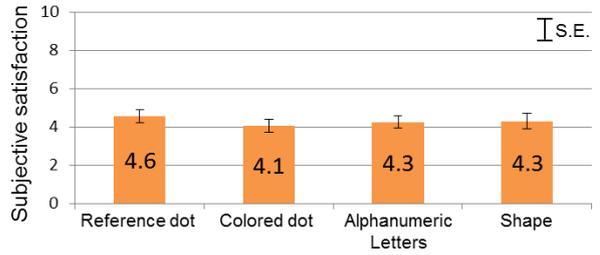


Figure 6. Subjective evaluation result in 1st pilot test

1차 예비 실험결과 기존 시야검사장비에서 사용되고 있는 시선고정용 시표(●)와 새롭게 개발된 시선고정용 시표들 사이의 시선고정 성능의 차이는 없는 것으로 나타났다. 점(●)형태의 시선고정용 시표의 주관적 만족도(7점 척도) 점수는 평균 4.6점으로 다른 중심시표에 비해 최대 0.5점 높게 평가되었으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Figure 6). 그 이유는 새롭게 개발된 시선고정용 시표가 주변에 제시되는 시표와 동일한 시간 간격으로 형태가 바뀌기 때문에, 시표가 제시되지 않은 상황(맹점시표 제시)임에도 불구하고 습관적으로 시야검사자가 시표확인버튼을 입력하게 되기 때문으로 사료된다. 따라서, 본 실험에서는 시선고정용 시표를 제시하는 간격을 시야검사 시표와 다르게 제시하는 것이 필요한 것으로 파악되었다.

3.2 2nd pilot test

두 번째 예비 실험에서는 Woodson and Conover(1964)과 Connors(1975)의 연구결과를 바탕으로 점멸속도를 0, 1, 5, 10 Hz로 다르게 한 점 형태의 시선고정용 시표를 개발하였다. Woodson and Conover(1964)는 3 ~ 10 Hz 속도로 점멸하는 점멸등을 사용하면 사람의 주의를 끌 수 있다고 보고하였고, Connors(1975)는 NASA의 항공기 충돌방지시스템 개발 기술 보고서에서 점멸하는 빛이 사람의 시선을 유도하여 인접 항공기의 정확하고 빠른 검출을 통한 항공기 충돌 방지 효과를 보여 주었다. 점멸속도가 다른 네 가지 시선고정용 시표에 대해 주관적 만족도(3점 척도)를 정상인 5명을 대상으로 평가하였다. 두 번째 예비 실험에서는 점멸속도가 5, 10 Hz인 점 형태의 시선고정용 시표의 주관적 만족도가 0, 1 Hz의 점멸속도로 깜박이는 시선고정용 시표에 비해 선호되는 것으로 파악되었다.

점멸속도가 5, 10 Hz인 시선고정용 시표의 자극 빈도는 시야검사 시 시선고정을 유도하는 것으로 사료된다. 점멸속도가 0, 1 Hz의 시표는 각각 1초에 0, 1회 제시되는 반면, 점멸속도가 5, 10 Hz의 시표는 각각 1초에 5, 10회 제시됨으로써 더 많은 자극을 시신경으로 전달하게 된다. 시야검사를 위해 주변에 제시되는 시선고정용 시표보다 많은 횟수의 자극은 시야검사자의 시선이 시야검사용 시표로 이동하기 전에 검사화면의 중심으로 시선을 다시 유도함

으로써 시선을 고정을 유도하는 효과를 보인 것으로 사료된다.

3.3. Final experiment

3.3.1. Method

본 연구는 시야검사기의 시선고정용 시표 설계에 점멸 속도와 시각적 모양 요소 적용이 효과적인 시선고정을 유도할 수 있는지 시선고정 성능과 주관적 만족도를 평가하고자 두 단계의 실험을 진행하였다. 첫 번째 실험에서는 점멸속도를 0 ~ 20 Hz까지 5 Hz 단위씩 증가시킨 점 (●) 형태의 시선고정용 시표를 개발하고 시선고정 성능을 평가하여 선호되는 점멸속도를 도출한다. 두 번째 실험에서는 점 형태의 기존 시선고정용 시표, 첫 번째 실험에서 선호 점멸속도로 점멸하는 점 형태의 시선고정용 시표, 그리고 점 형태를 포함한 다양한 모양의 도형이 선호 점멸속도로 점멸하는 시선고정용 시표(Figure 7)의 시선고정 성능 및 주관적 만족도 평가를 통하여 다양한 모양의 도형이 시선고정에 미치는 효과를 분석한다.

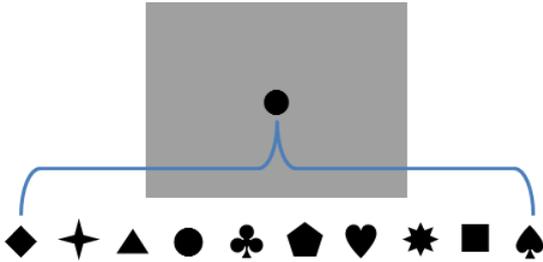


Figure 7. Flashing shapes of central target for eye fixation

본 실험에서는 시선고정용 시표의 형태별 시선고정오류율(fixation error rate, FER)과 시선고정이탈율(fixation loss rate, FLR) 분석을 통해 시선고정 성능을 평가하고, 시선고정 용이성, 검사집중도, 눈 피로도, 그리고 전반적 만족도로 구성된 주관적 만족도 평가(7점 척도)를 통해 선호되는 시선고정용 시표 형태를 파악하였다.

시선고정오류율은 시선고정 성능평가 실험이 진행되는 동안 총 10번 맹점이 제시될 동안 시야검사자가 제시된 맹점 시표에 반응한 횟수를 비율로 측정하였다(Equation 1). N_E 는 시야검사자가 제시된 맹점 시표에 반응한 횟수를 나타내고, N_B 는 시선고정 성능평가 실험이 진행되는 동안 제시되는 총 맹점 시표의 수를 의미한다.

$$FER(\%) = \frac{N_E}{N_B} \times 100 \quad (1)$$

시선고정 성능평가 실험이 진행되는 동안 X, Y 좌표 값으로 동공의 중심 위치를 측정하고 시야검사화면의 중심으로부터 동공이 이동한 지점까지의 Euclidian distance를 frame 단위로 계산한다. 계산된 Euclidian distance가 안구의 미세운동 허용범위를 초과하는 경우 시선고정용 시표에 대한 시선고정이 이탈된 것으로 규정하고, 전체 프레임에서 시선고정이 이탈된 프레임의 비율을 시선고정 이탈율로 정한다(Equation 2). 시선고정 오류율과 시선고정 이탈율이 높을수록 시선고정 성능이 저하된다. n 은 측정된 총 frame 수, L_i 는 안구의 미세운동 허용범위를 초과하는 frame을 나타낸다.

$$FLR(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \times 100 \quad (2)$$

시선고정용 시표의 형태별 시선고정 성능 및 주관적 만족도 차이의 통계적 유의성 검증을 위해, *t*-test, four-factor mixed-subjects ANOVA 방법이 수행되었다.

4. Discussion

본 연구는 시야검사 시 시야검사자의 시선을 효과적으로 유도하기 위해 점멸 속도와 시각적 자극 요소로 다양한 모양의 도형을 사용하여 시선고정용 시표를 개발하였다. 기존 시야검사기는 시야검사자의 시선의 위치를 추적하여 검사화면의 중심에 시선이 고정되지 않았을 경우, 시야검사를 진행하지 않고 잠시 중단하거나, 검사결과를 신뢰하지 않도록 하고 있다. 본 연구에서 개발된 시선고정용 시표는 시야검사자의 시선을 유도하는 방법을 통해 정확한 시야검사 결과 도출에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 개발된 시선고정용 시표에 포함된 시각적 자극 요소 중 점멸요소는 시야검사자의 시선을 유도하는 효과가 있을 것으로 기대된다. 그러나, 점멸에 의한 다량의 시각적 자극은 시야검사가 장시간 진행될 경우 시야검사자의 시각적 피로를 유발시킬 우려가 있다. 따라서, 시야검사 시간과 시선고정용 시표의 점멸속도가 동시에 고려되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구의 객관적 지표 중 하나인 시선고정이탈율은 시선고정 성능을 평가하는데 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 시선고정이탈율은 일부 고성능의 시야검사기에 탑재된 gaze tracking 결과를 graph가 아닌 정량적 수치로 제공하는 지표로 시선고정의 연속성 및 시야검사용 시표가 제시되는 순간의 안구의 움직임을 파악하는데 적용될 것으로 기대된다. 시야검사 시 수집된 안구의 움직임으로

부터 도출될 수 있는 안구의 미세운동 범위는 추후 시선 고정여부를 자동으로 모니터링 할 때 시선고정으로 허용해야 할 기준 값 결정에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

추후 연구로 시선고정용 시표에 따른 눈의 피로도 측정 실험을 통한 최적의 시선고정용 시표와 시야검사 시간에 대한 연구가 수행될 수 있다. 본 연구는 시야검사 시 시선고정 유도방법 개발 및 평가에 집중한 연구로서 실제 검사에서 발생하는 피로나 검사환경이 시야검사결과에 미치는 영향을 모두 고려하지 못한 한계가 있다. Ohsuga et al.(2007)은 electrooculargram(EOG) 신호분석을 통해 정신적 피로도를 측정하였다. 시야검사는 시선을 검사 화면의 중심에 고정한 채로 단조롭게 제시되는 시야검사용 시표를 확인하는 검사로 정신적 피로를 유발시킬 수 있다. 또한 시선고정 유도방법이 적용되더라도 시야검사는 다양한 위치에 나타나는 밝기가 다른 시표를 확인해야 하는 상당한 집중을 요하는 검사로 시각적 피로가 유발될 수 있으므로 시야검사의 총체적 관점에서 효과적인 시선고정용 시표에 대한 검증이 필요하다.

Acknowledgements

The present research was supported by ministry of knowledge economy & National IT industry promotion agency for IT consilience program (C1515-1121-0003).

References

- Connors, M. M., Conspicuity of target lights. the influence of flash rate and brightness. *NASA TN D-7961*, 1-17, 1975.
- Dersu, I., Wiggins, M. N., Luther, A., Harper, R., and Chacko, J., Understanding visual fields, part I: Goldmann perimetry, *Journal of Ophthalmic Medical Technology*, 2, 1-10, 2006.
- Ohsuga, M., Kamakura, Y., Inoue, Y., Noguch, Y., and Nopsuwanchai, R., Classification of blink waveforms toward the assessment of driver's arousal levels - an EOG approach, *D. Harris (Ed.): Engin. Psycho. And Cog. Ergonomics, HCII2007, LNAI4562, 787-795, 2007.*
- Paolo Brusini, Frequency doubling technology staging system 2. *J Glaucoma*, 15, 315-320, 2006.
- Quigley, H. A., Broman, A. T., The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol*, 90, 262-267, 2006.
- Sanders, M., McCormick, E. J., Human factors in engineering and design, *7th (Ed.): McGraw-Hill*, 1993.
- Woodson, W. E. and Conover, D. W. Human engineering guide for equipment designers, *2nd (Ed.): Berkeley: University of California Press*, 1964.
- Carl Zeiss MediTec. Humphrey® Field Analyzer II-i series User Manual, 2005.
- 김창희, 이동춘. 한글 인식과정에서의 안구운동 특성분석, *대한인간공학회*, 199-208, 1995.

Author listings

Jihyoung Lee: iwoneye@postech.ac.kr

Highest degree: M.S., Department of Life Science, Dongguk University

Position title: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Ergonomic Interface System for the Disabled Person

Baekhee Lee: x200won@postech.ac.kr

Highest degree: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: Ph.D., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Vehicle Ergonomics

Yeona Kim: rmaksmf@postech.ac.kr

Highest degree: B.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Vehicle Ergonomics, User interface design & evaluation

Hyunji Park: @postech.ac.kr

Highest degree: B.S., Department of Industrial Engineering, Hongik University

Position title: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, User interface design & evaluation, Ergonomic Interface System design for the Disabled Person

Jaheon Kang: kjh0614@khu.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Medical college of Kyung Hee University

Position title: Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong

Areas of interest: glaucoma

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Industrial Engineering, Pennsylvania State University

Position title: Associate Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Department of Creative IT Excellence Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing