

Test Chart 2000 Pro와 한국 표준 검안법의 일치도 비교 연구

강지훈 · 김달영

서울산업대학교 안경광학과

투고일(2008년 10월 26일), 수정일(2009년 2월 2일), 게재확정일(2009년 3월 6일)

목적: 본 연구는 영국에서 개발된 컴퓨터 모니터용 검안프로그램 Test Chart 2000 Pro의 타당도(validity)를 평가하기 위해 수행되었다. **방법:** Test Chart 2000 Pro와 한국표준검안법의 공통된 10종류 검안항목에 대하여, 각 항목별로 동일한 피실험자군을 대상으로 2가지 검안법을 함께 실시하고, 측정결과의 일치도를 비교분석하였다. **결과:** 10종류의 비교실험 중 Snellen Chart, Cross-cyl Target, Duochrome Test, Fan and Block Test, Random Dot Stereograms에서는 한국표준검안법과 Test Chart 2000 Pro양측의 결과가 통계적으로 유의미한 일치를 보였으나, LogMar Chart, Single Letter Chart, Phoria Test, Fixation Disparity Test, Worth 4 Dot Test에서는 두 검안 방법의 결과에서 차이가 나타났다. **결론:** 한천석 시력표와 포롭터로 이루어진 한국표준검안법을 기준으로 했을 때 Test Chart 2000 Pro의 타당도는 높지 않으며, 측정의 정확도 측면에서 개선이 요구된다.

주제어: Test Chart 2000 Pro, 모니터를 이용한 검안, 한국표준검안법

서 론

IT기술의 놀라운 발전에 힘입어 검안분야에서도 자동시력측정기기 등의 발달로 검안의 편리성과 정확도가 높아지고 있으며, 인터넷을 통하여 검안을 할 수 있는 사이트까지 존재하게 되었다¹⁾.

Chart projector나 LCD방식의 차트비전 시표가 발달되면서 시표종류가 다양화되고, phoropter와 연계하여 리모콘 등을 이용한 자동화된 시력 검사를 더욱더 다양하고 편리하게 할 수 있게 되었지만 여전히 거리에 맞추어서 스크린을 고정해야 하는 점과 시표의 위치나 종류를 업그레이드 할 수 없다는 점에서는 한계가 있다.

자동시력측정기기의 경우 크게 전문성을 요하지 않고 적외선을 이용하여 조절자극을 최대한 배제하여 측정되기 때문에 비교적 정확하고, 신속함과 편리성 때문에 널리 보급되었으나, 자동시력측정기기의 타당도(validity)와 신뢰도(reliability)에 대해서는 많은 논란과 연구가 있다^{2,3)}. 일례로써 Song et al.의 연구논문에서는 한천석시력표에 의한 시력측정 값이 chart projector로 측정한 시력측정 값보다 한 단계 정도 더 높게 측정 된다는 결과가 보고된 바 있다²⁾.

컴퓨터 모니터를 이용한 검안장치는 다양한 시각적 효과를 함께 사용할 수 있고, 거리에 따라 시표의 크기를 변

환할 수 있으며, 프로그램 업데이트를 통한 시표의 수정이 가능하다는 점에서 chart projector나 LCD 방식의 차트비전에 비하여 더욱 발전된 형태이다. 검안사가 검사 목적이나 검안 환경, 환자 개인의 특성에 맞추어 맞춤형 시표를 사용할 수 있고, 일반 PC나 노트북에 손쉽게 설치할 수 있다는 장점이 있다.

모니터를 이용한 검안장치에 대한 가이드라인은 1990년대에 영국, 유럽, 호주 등지에서 설정되었다^{4,5)}. 이러한 기준에 바탕하여 1990년 중반에 영국 런던에 있는 City University의 David Thomson교수 연구팀과 Thomson Software Solutions 회사에 의해서 개발된 검안 차트 프로그램인 Test Chart 2000은 Window운영체제에 바탕을 둔 세계최초의 컴퓨터 모니터용 검안법이다. 2002년에 출시된 Pro 버전은 영국을 포함한 유럽과 미국, 호주에서 이미 상용화되어 검안 교육과 병원, 클리닉 등에서 사용되고 있다^{6,7)}.

Test Chart 2000 Pro는 Windows기반 프로그램으로서, Windows NT를 제외하고는 Windows 98 이후의 모든 버전에서 지원된다. 최소 요구 해상도는 15인치 모니터에서는 1024×768 이상, 17인치나 19인치 모니터에서는 1024×1024 이상의 True color 32 bit이며, 듀얼 모니터 방식을 지원한다. CRT방식의 디스플레이 보다는 LCD나 TFT방식의 디스플레이가 Test Chart 2000 Pro에 더욱 적

합하다. Flat Panel Displays의 경우, 명암비는 250:1 이상, 휘도(luminance)는 200 cd/m² 이상의 조건을 갖추어야 한다. 검사거리는 1~10 m 범위에서 가변적이지만, 권장 거리는 3 m 이상이다. 조도는 50 lux 이상이 필요하다⁸⁾.

그러나 Test Chart 2000 Pro를 이용하는 검안법이 임상에 적용되고 있음에도 불구하고, 저자들이 조사한 범위 내에서는, 그에 대한 타당도(validity)를 조사한 연구가 발표된 적이 없으며, 개발자인 영국의 Thomson Software Solutions 에서도 자료를 제공하지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 Test Chart 2000 Pro와 기존의 표준적인 검안법의 결과를 비교분석하여 일치도를 결정하고 그로부터 Test Chart 2000 Pro의 타당도를 평가하는 것을 목적으로 하여 수행되었다.

연구대상 및 방법

어떤 새로운 진단법의 타당도를 측정하기 위해서는 비교의 기준이 되는 표준 진단법(황금기준 또는 gold standard)의 설정이 필수적이다⁹⁾. 본 연구진은 한국의 안경원과 안과의 검안과정에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 한천석 시력표와 포롭터(phoropter), 그리고 입체시 검사에 널리 이용되고 있는 Randot 시력표를 합하여, ‘한국 표준검안법’이라 명명하고 비교의 기준인 황금기준으로 간주하였다. 이러한 한국표준검안법을 황금기준으로 삼고 Test Chart 2000 Pro와의 검안결과 일치도를 분석함으로써, 모니터에 기반한 Test Chart 2000 Pro 검안법의 타당도를 평가하고자 하였다.

한국표준검안법과 Test Chart 2000 Pro의 검안항목이 일치하지 않기 때문에, 양쪽 모두에 존재하는 Snellen Chart, LogMAR Chart, Single Letter Chart, Fan and Block Test, Cross-cyl Target Test, Duochrome Test, Associated Phoria Test, Fixation Disparity Test, Random Dot Stereograms, Worth 4 Dot Test 등의 10개 항목만을 비교대상으로 선정하였다.

검사는 각 검안항목 별로 동일한 대상자 집단에 대하여 수행되었으며, 측정실의 실내조도는 200 lux였고, 사용된 LCD 모니터의 주파수는 60 Hz, 크기는 15.2인치, 휘도는 320 cd/m²였다. 모니터의 color calibration은 실시하지 않았고 default value를 이용하였으며, 검안시의 검사거리는 검안항목별로 아래에 기술되어 있다.

1. 검안항목과 연구대상

1) Snellen Chart

일반인 성인남녀 중 안질환을 가지고 있지 않은 대상자 40명(80안)을 대상으로 하였다. 검사 방법은 국내에서 보



Fig. 1. Snellen Chart of Test Chart 2000 Pro⁶⁾.

편적으로 사용되고 있는 한천석시력표와 Test Chart 2000 Pro의 Snellen Chart(Fig. 1)를 5 m 거리에 놓고 한천석시력표를 이용하여 먼저 시력측정을 한 후 Test Chart 2000 Pro의 Snellen Chart를 이용하여 시력을 측정하였다.

2) LogMAR Chart¹⁰⁾

안질환이나 사시, 약시, 굴절이상 교정 수술 등으로 굴절검사에 영향을 받을 수 있는 경우를 제외한 11세에서 59세까지 연령의 55명(110안)을 검사대상으로 하였다.

Snellen Chart의 실험방법과 같이 Test Chart 2000 Pro의 LogMAR Chart(Fig. 2)와 한천석시력표를 5 m 거리에 두고, 한천석시력표를 이용하여 먼저 측정한 후 Test Chart 2000 Pro의 LogMAR Chart를 이용하여 시력 측정을 하였다.



Fig. 2. LogMAR Chart of Test Chart 2000 Pro⁶⁾.

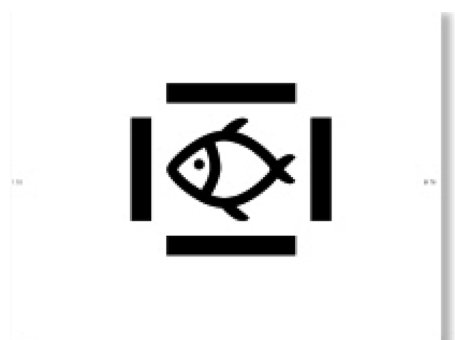


Fig. 3. Single Letter Chart of Test Chart 2000 Pro⁶⁾.

3) Single Letter Chart

경기도에 거주하는 연령 7~9세의 어린이중 총 99명(198안)을 대상으로 시력 측정을 하였다.

Single Letter Chart는 어린이들이나 정신지체아들을 위해 만들어진 시표로써 여러개의 글자를 한 번에 봐야하고, 글자 크기도 바꿀 수 없는 한천석 시력표와 달리, 글자를 하나씩 한눈에 볼 수 있도록 되어 있고 글자의 크기 또한 간단하게 바꿀 수 있는 장점이 있다.

검사방법은 한천석시력표와 Test Chart 2000 Pro의 Single Letter Chart(Fig. 3)를 5 m 거리에 두고, 먼저 한천석시력표를 이용하여 시력측정을 한 후 Test Chart 2000 Pro의 Single Letter Chart를 이용하여 시력을 측정하였다^[11].

4) Fan and Block Test

안질환이나 사시나 약시이상 없는 서울산업대학교 재학생 50명(100안)을 대상으로 검사를 실시하였다.

5 m 거리에서 phoropter(UT-S, Topcon)와 chart projector(CP-30, Shin-Nippon)를 이용한 표준 검사법을 적용하였다. 구면교정도수는 적록검사를 이용하여 과교정이 되지않도록 하였고, 난시축은 5° 단위로 측정하여 피검자들의 양안 최대 시력은 1.0이 되도록 완전 교정을 하였다.

방사선시표를 이용한 검사를 한 후 피검자들은 10분 동안 휴식 후 포롭터에서 나온 구면 값은 일정하게 유지하면서 Test chart 2000 Pro의 Fan and Block(Fig. 4)을 사용하여 난시량과 난시축을 검사하였다.

5) Cross-cyl Targets Test

안질환이나 사시, 약시, 굴절이상, 교정수술 등 굴절검사에 영향을 줄 수 있는 경우를 제외한 서울산업대학교 재학생 60명(120안)을 대상으로 검사하였다.

먼저 phoropter(UT-S, Topcon)와 chart projector (CP-30, Shin-Nippon)를 사용하여 5 m 거리에서 숫자시표를 이용하여 최대구면굴절력(BVS) 측정하고 조절의 배제를 위해 운무를 통한 크로스실린더(Jackson's Cross Cylinder)를 사용하여 단안시력 1.0으로 완전교정 하였다.

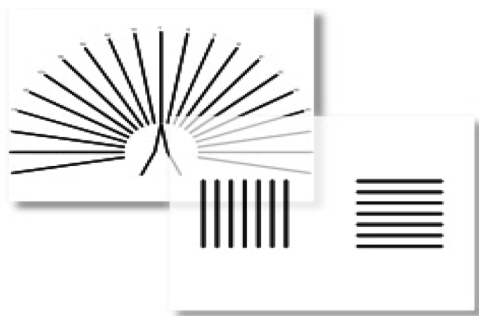


Fig. 4. Fan and Block Test of Test Chart 2000 Pro^[6].

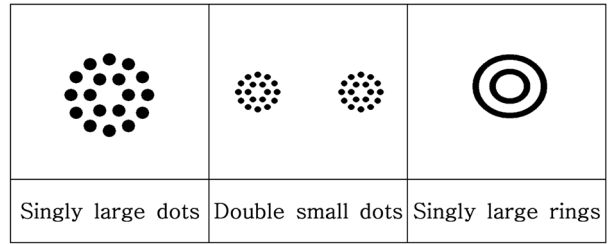


Fig. 5. Cross Cylinder Targets of Test Chart 2000 Pro^[6].

10분간의 휴식 후에 phoropter에서 나온 최대구면굴절력을 유지하면서 Test Chart 2000 Pro의 Cross Cylinder Target을 사용하여 난시량과 난시축을 구했다. 시표에서 chart projector는 한 가지 종류인 것에 반하여 Test Chart 2000 Pro는 8가지 종류의 Cross Cylinder차트가 있다. 이에 본 연구에서는 표준시력기구인 phoropter의 점근시표와 가장 동일한 형태인 Singly Large Dots를 이용하여 시력측정을 실시하였다(Fig. 5).

6) Duochrome Test

안질환이나 굴절검사에 영향을 줄 수 있는 경우를 제외한 서울산업대학교 재학생 35명(70안)을 대상으로 적록이색검사를 실시하였다.

5 m 거리에서 phoropter(BR-7, Shin-Nippon)와 chart projector (JP/CP-30, Shin-Nippon)를 사용하여 피검자들 완전 교정을 한 후 적록검사를 실시하여 과교정 및 저교정 여부를 알아냈으며, 동일한 굴절력의 렌즈를 시험테에 끼워 피검자에게 씌운 후 Test Chart 2000 Pro를 통해 적록검사를 실시하였다(Fig. 6).

7) Phoria Test

서울산업대학교에 재학중인 20대 학생 중 안질환 없는 남녀 41명(82안)을 대상으로 사위검사를 실시하였다.

Phoropter(VT-SE, Topcon)와 chart projector(CP-30, Shin-Nippon)를 이용하여 5 m 거리에서 단안 시력이 1.0이 되는 완전교정도수를 측정한 후 프리즘분리법(Von-graefe method)을 이용하여 수평과 수직의 사위도를 측정하였다.



Fig. 6. Duochrome Test of Test Chart 2000 Pro^[6].

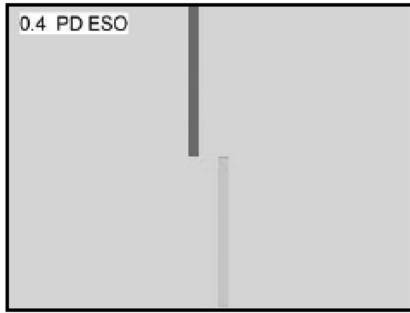


Fig. 7. Phoria Tests of Test Chart 2000 Pro^[6].

Test Chart 2000 Pro의 Phoria Test시표(Fig. 7)를 모니터에 실행시킨 후 피실험자에게 기존착용도수 렌즈를 시험테에 장입한 뒤 적록렌즈(우안 녹색, 좌안 적색)를 통하여 모니터를 보게 하여 Phoria Test의 막대움직임의 유무를 관찰하게 한다. 움직임이 관찰 되었을 때 사위가 있는 것으로 판단되어 움직임이 없어질 때가 정위상태이므로 막대의 움직임이 없어질 때까지 프리즘 도수를 부과하여 사위도를 측정하였다^[12].

8) Fixation Disparity Tests

서울산업대학교 20대 재학생 중 안질환 없는 남녀 31명(62안)을 대상으로 주시시차검사를 실시하였다. 먼저 5 m 거리에서 phoropter를 이용하여 피검자의 단안 시력이 1.0 이 되는 완전교정도수를 측정하여 장입하고, 편광분리법을 이용하여 수평과 수직 사위도를 검사하였다. 십자편광시표로 사위량을 측정한 뒤 같은 조건에서 시표를 양안주시점 십자편광시표로 바꿔 사용하여 사위량을 측정하였다. 이때 두 십자편광시표로 측정된 사위량의 차이가 주시시차량(fixation disparity)이 된다^[13].

Test Chart 2000 Pro의 Fixation Disparity Test시표를 모니터에 실행시킨 후 피검자의 완전교정도수를 시험테에 장입하고 적록 렌즈를 넣은 후 차폐-비차폐를 통해 Fixation Disparity Test 시표 내 막대와 문자의 움직임을 관찰하였다. 움직임이 없는 것이 정위상태이기 때문에 움직임 없어질 때까지 측정하였다(Fig. 8).

9) Worth 4 Dot Test

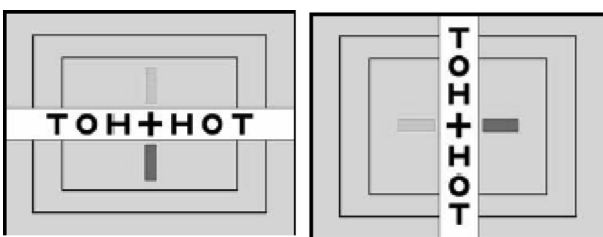


Fig. 8. Fixation disparity of Test Chart 2000 Pro^[6].

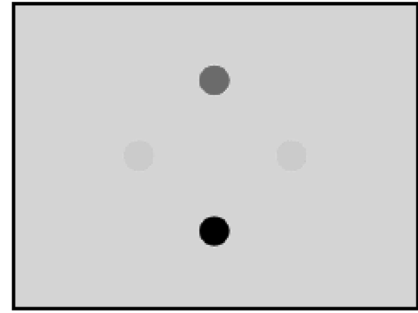


Fig. 9. Worth 4 Dot Test of Test Chart 2000 Pro^[6].

서울산업대학교에 재학중인 20대 학생 중 안질환이 없는 사람을 대상으로 총 30명(60안)에 대해 실시하였다. 먼저 phoropter를 이용하여 완전교정한 후 양안에 적록필터를 착용하고 6 m 거리에서 Worth 4 Dot시표를 이용하여 수평과 수직 사위도를 검사하였다(Fig. 9). 위의 검사와 동일한 조건 하에 Test Chart 2000 Pro의 Worth 4 Dot Test를 실행시켜 다시 검사하였다.

10) Random Dot Stereograms

서울산업대학교의 20대 재학생 중 안질환이 없는 30명을 대상으로 입체시검사를 실시하였다. 먼저 40 cm 거리에서 피검자에게 편광안경을 착용시키고 Randot시표(凸, 凹)를 읽게 하였다. 양각시표는 3개의 원 중에서 튀어나온 하나의 원을 찾는 것으로 400~20 sec 사이에서 10단계로 구성되어 있으며, 음각시표는 움푹 들어가 보이는 도형의 형태를 맞추는 것으로 500, 250 sec의 두 단계로만 구성되어 있다. 검사는 각각의 시표 중 가장 높은 입체시 단계에서 시행하여 맞추면 통과하고, 인식하지 못하면 그 전 단계로 돌아가 2번 이상 연속으로 맞추는 값을 결과치로 하였다. 또한, 각 검사단계마다 12초로 반응시간을 제한하였다.

Test Chart 2000 Pro의 경우 40 cm 거리에서 적록안경을 착용시키고 각각의 단계에서 튀어나와 보이거나 들어가 보이는 알파벳을 읽는 것으로 양·음각 모두 3055~153

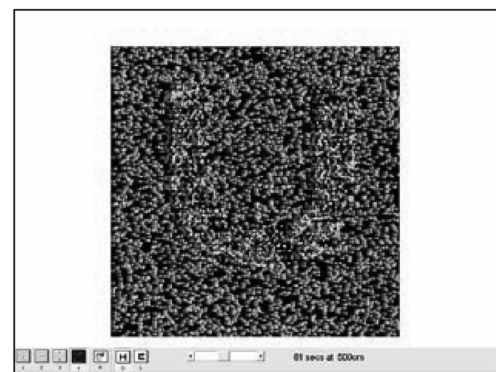


Fig. 10. Random Dot Stereograms of Test Chart 2000 Pro^[6].

sec사이에서 20단계로 구성되어있다. 정상안만을 측정하지 않고 입체시 이상을 유발하여 정상안과 동일한 방법으로 두 시표에서 측정을 다시 하여 각각의 결과 값을 비교하였다. 입체시에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 부등상, 부등시, 조절, 망막조도, 동공크기 등이 있는데, 구면렌즈로 유발된 부등시에 의해 입체시가 저하되는 중요한 원인이 중심시력의 저하에 있다는 정적·동적 입체시 검사의 결과와 마이너스렌즈보다는 플러스렌즈로 유발된 입체시의 저하가 더욱 현저하다는 연구결과에 따라 본 연구에서는 우안에 임의로 +2.00에서 +3.00디옵터의 구면렌즈를 대어 중심시력을 저하시켜 부등시를 유발하였다^[14-16].

실험결과를 토대로 Randot시표와 Test Chart 2000 Pro의 Random Dot Stereograms(Fig. 10)의 결과가 유의한지를 알아보았다.

2. 분석방법

10 종류의 비교실험을 시력검사(Snellen Chart, LogMar Chart, Single Letter Chart)와 굴절검사(Fan and Block Test, Cross-cyl Target Test, Duochrome Test, Associated Phoria Test, Fixation Disparity Test, Random Dot Stereograms, Worth 4 Dot Test) 2개의 부류로 구분하여, 시력검사 항목의 일치도는 paired t-test로 판정하고 굴절검사의 일치도는 코헨의 계수^[9]로 판정하는 방법을 사용하였다.

1) Paired t-test

표준검안법의 시력측정 결과와 Test Chart 2000 Pro의 Snellen Chart, LogMAR Chart, Single Letter Chart에서 시력측정 결과가 차이가 있는지를 분석하기 위해서 t-검정을 실시하였다.

Paired t-test에서 신뢰도 95% 유의성 0.05를 기준으로 할 때, 기존방식에 비해서 차이가 유의성이 있게 나는지 양측검증을 이용하여 알아보았다. 유의수준(p-value)<0.05 이면 두 결과가 유의하게 차이가 있다는 의미이고 p-value>0.05이면 두 결과의 차이가 일치한다는 의미이다^[17].

2) Cohen's κ coefficient^[18]

Cohen's κ coefficient는 측정되어진 두 실험값의 일치도를 측정하는 통계적인 방법이다.

κ 계수는 상호 배타적인 두 범주의 유의성을 구하는데 사용되어진다. Cohen's κ coefficient를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\kappa = \frac{(NN+PP) - \left[\frac{(NN+NP)}{Total} \cdot \frac{(NN+PN)}{Total} + \frac{(PN+PP)}{Total} \cdot \frac{(NP+PP)}{Total} \right]}{1 - \left[\frac{(NN+NP)}{Total} \cdot \frac{(NN+PN)}{Total} + \frac{(PN+PP)}{Total} \cdot \frac{(NP+PP)}{Total} \right]}$$

Table 1. interpretation of Cohen's κ value^[19]

| κ | Interpretation |
|-----------|----------------------|
| < 0 | No agreement |
| 0.00~0.20 | Negligible agreement |
| 0.21~0.40 | Minimal agreement |
| 0.41~0.60 | Fair agreement |
| 0.61~0.80 | Good agreement |
| 0.81~1.00 | Excellent agreement |

$$\kappa = \frac{\text{두 검사가 일치한 비율} - \text{우연히 일치할 확률}}{1 - \text{우연히 일치할 확률}}$$

*NN: Test Chart 2000 Pro 에서 이상이 발견되지 않고, 표준검안법 에서도 이상이 발견되지 않은 횟수

*PP: Test Chart 2000 Pro 에서 이상이 발견되고, 표준검안법에서도 이상이 발견된 횟수

*NP: Test Chart 2000 Pro 에서 이상이 발견되지 않고, 표준검안법에서 이상이 발견된 횟수

*PN: Test Chart 2000 Pro 에서 이상이 발견되고, 표준검안법에서 이상이 발견되지 않은 횟수

*Total: 전체 피검안 수

κ 계수는 일치도가 우연과 동일할 때 0의 값을 가지며, 우연보다 낮으면 음의 값을, 완벽하게 일치하는 경우에는 1의 값을 가진다. κ 계수의 평가는 아래의 표에 따른다 (Table 1).

결 과

1. Snellen Chart

표준검안법(한천석시력표)을 이용한 시력검사결과와 Test Chart 2000 Pro를 이용한 시력검사결과를 비교하면, 87%(62안 중 54안)에서 시력검사결과가 일치했고 13%(62

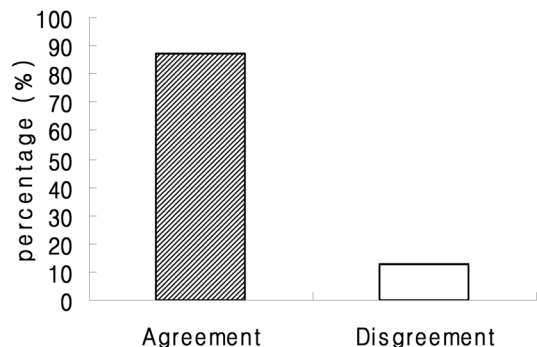


Fig. 11. Agreement of standard eye test vs Snellen Chart of Test Chart 2000 Pro.

안 중 8안)에서 시력표에서 한단계정도의 시력 차이값을 보이면서 불일치했다. 또한, T-test의 결과 유의수준 $p=0.892521(p<0.05)$ 로 표준검안법과 Test Chart 2000 Pro의 Snellen Chart는 양안모두 통계적 유의성이 없는 것으로 보아 표준검안법과 Snellen Chart의 시력검사결과의 차이는 거의 없었다(Fig. 11).

2. LogMAR Chart

표준검안법(한천석시력표)을 이용한 시력검사결과와 Test Chart 2000 Pro를 이용한 시력검사결과를 비교하면, 40%(110안 중 44안)에서 시력검사결과가 일치하는 것으로 나타났고, 60%(110안 중 66안)에서 불일치하는 것으로 보여졌다(Fig. 12).

T-test결과 유의수준 $p=0.048155 (p<0.05)$ 로 통계적 유의성이 있는 것으로 보아 표준검안법의 시력검사결과와 Test Chart 2000 Pro의 Log-MAR Chart 측정치는 어느 정도 오차가 있는 것으로 추정되어진다.

3. Single Letter Chart

표준검안법(한천석시력표)을 이용한 시력검사결과와 Test Chart 2000 Pro를 이용한 시력검사결과를 비교하면,

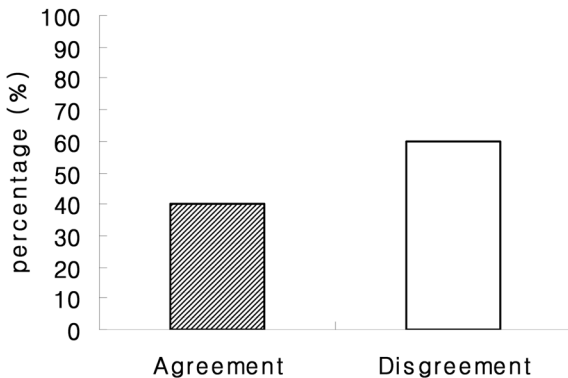


Fig. 12. Agreement of standard eye test vs LogMar Chart of Test Chart 2000 Pro.

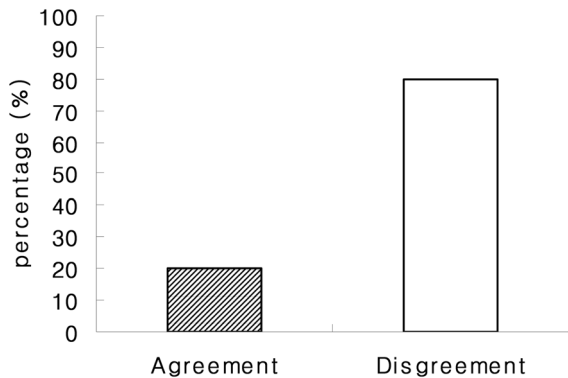


Fig. 13. Agreement of standard eye test vs Single Letter Chart of Test Chart 2000 Pro.

20%(198안 중 40안)으로 매우 적은 수의 피검자에서 일치하는 것으로 나타났으며, 피검자의 80%(198안 중 158안)에서 불일치하는 것으로 나타났다(Fig. 13).

T-test결과 $p=0.018469(p<0.05)$ 로 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났으며, 이러한 결과로 보아 Test Chart 2000 Pro의 Single Letter Chart와 표준검안법과의 시력측정결과는 오차가 큰 것으로 해석될 수 있다.

4. Fan and Block Test

Chart projector의 방사선시표와 Test Chart 2000 Pro의 Fan and Block Test시표의 난시량의 일치도는 98%(100안 중 98안)로 거의 대부분의 피검자가 일치하는 것으로 나타났고, 난시축의 경우 피검자의 82%(100안 중 82안)에서 일치하는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 14).

난시량과 난시축이 모두 일치하는 경우는 피검자의 81%(100안 중 81안)로 비교적 높은 일치도를 보였으며 19%(100안 중 19안)에서 불일치하는 결과를 나타내었다(Fig. 15).

두 시표의 난시도의 정확도와 신뢰성을 비교하여 구한 Cohen's κ coefficient는 0.8596으로 상당한 일치(excellent agreement)를 나타내었다.

5. Cross-cyl Target Test

표준시력기구인 chart projector의 점군시표를 이용한 크로스실린더법과 Test Chart 2000 Pro의 Cross-cyl Target Test를 다음과 같이 3가지로 분류하여 비교분석해 보았다.

구면 굴절력 측정결과의 차이를 비교분석한 결과 피검

Table 2. Astigmatism power agreement and Astigmatism axis agreement

| Distinction | Agreement (%) | disagreement (%) |
|-------------|---------------|------------------|
| Astigmatism | 98 | 2 |
| Axis | 82 | 18 |

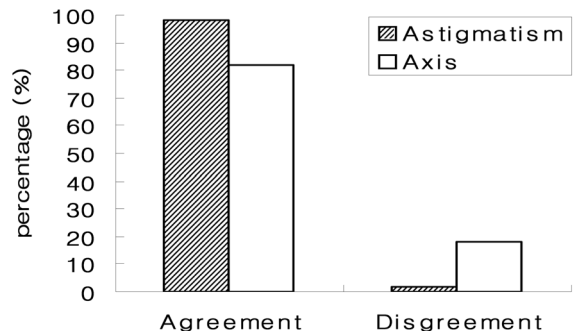


Fig. 14. Astigmatism power agreement and Astigmatism axis agreement.

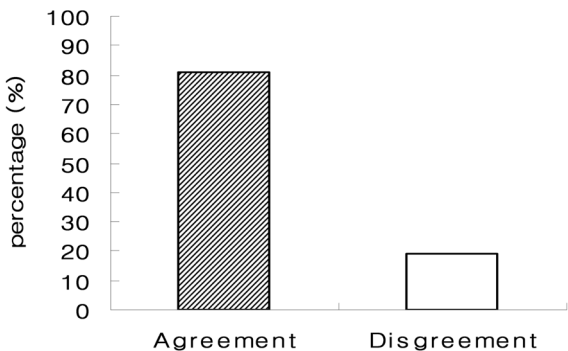


Fig. 15. Agreement of both astigmatism and astigmatism axis.

Table 3. Classification of agreement and disagreement

| Distinction | Agreement (%) | Disagreement (%) |
|-----------------|---------------|------------------|
| Spherical power | 75 | 25 |
| Astigmatism | 58 | 42 |
| Axis | 49 | 51 |

안수의 75%(120안 중 90안)로 높은 일치도를 나타냈고, 25%(120안 중 30안)은 불일치하는 결과를 나타내었다. 일치도를 측정하기 위한 Cohen's κ 계수는 0.9331로 표준시력기구와 Test Chart 2000 Pro는 상당한 일치도(excellent agreement)를 나타내었다.

난시량의 경우 58%(120안 중 69안)에서 일치하였으며, 불일치를 나타낸 피검안수는 전체 피검안수의 42%(120안 중 51안)로 일치도와 큰 차이를 나타내지 않았다. 이 결과 값을 바탕으로 한 Cohen's κ coefficient는 0.7273으로 표준시력기구와 Test Chart 2000 Pro가 일치(good agreement)하는 것으로 나타났다.

난시축의 측정결과를 비교분석한 결과 전체 피검안수의 49%(120안 중 59안)에서 일치하는 것으로 나타났으며, 51%(120안 중 61안)에서 불일치하는 결과를 나타내었다. Cohen's κ coefficient는 0.7109로 일치(good agreement)하는 것으로 나타났다(Table 3과 4, Fig. 16).

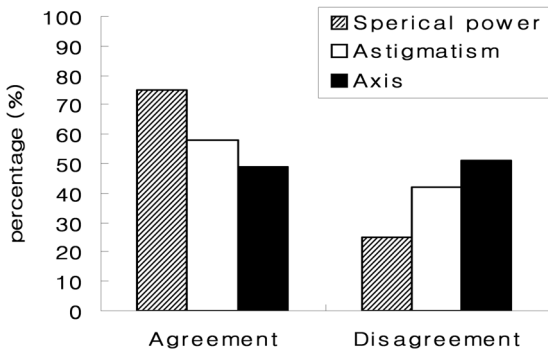


Fig. 16. Comparison of Spherical power, Astigmatism and Axis for agreement.

Table 4. Classification of Cohen's κ coefficient

| | Cohen's κ coefficient |
|-----------------|------------------------------|
| Spherical power | 0.9331 |
| Astigmatism | 0.7273 |
| Axis | 0.7109 |
| Total | 0.7904 |

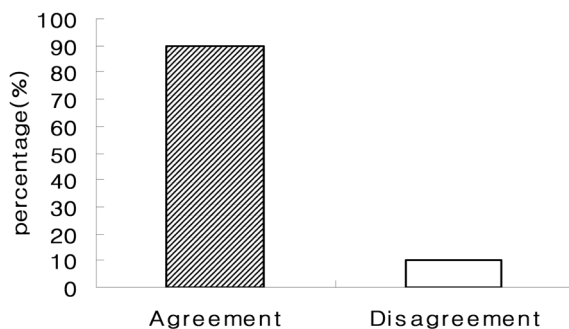


Fig. 17. Agreement of standard eye test vs Duochrome test of Test Chart 2000 Pro.

두 시표에서 전체의 일치도를 비교하여 나타난 Cohen's κ coefficient는 0.7904의 일치도(good agreement)를 나타내었다(Table 4).

6. Duochrome Test

표준검안법과 Test Chart 2000 Pro의 적록검사의 결과 전체 피검안수의 90%(70안 중 63안)에서 측정결과치의 일치를 나타내었다. 또한 Cohen's κ coefficient는 0.857로 상당히 일치(excellent agreement)하는 것으로 나타났다(Fig. 17).

7. Phoria Test

표준검안법의 프리즘 분리법과 Test Chart 2000 Pro의 Phoria Test의 비교분석에서는 수직사위량과 수평사위량

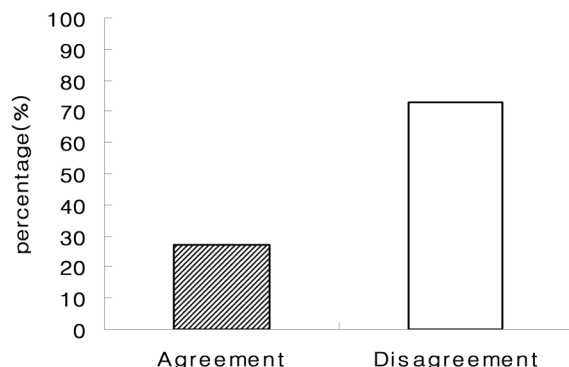


Fig. 18. Agreement of lateral phoria in standard eye test vs phoria test of Test Chart 2000 Pro.

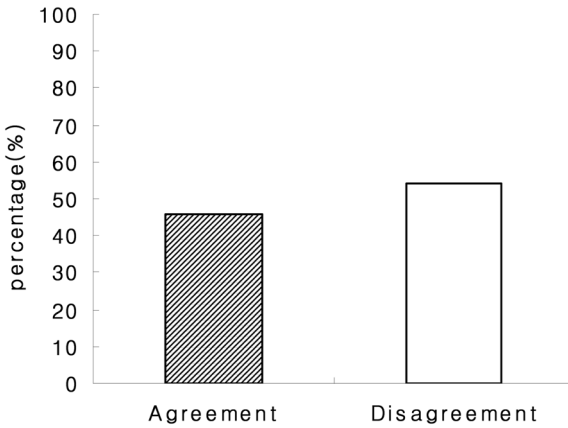


Fig. 19. Agreement of vertical phoria in standard eye test vs phoria test of Test Chart 2000 Pro.

두가지로 분류하였다.

수평사위량 측정결과 값의 차이를 비교해본 결과 전체 피검자의 27%(41명중 30명)로 매우 낮은 일치도를 보였다(Fig. 18).

Cohen's κ coefficient는 0.04로 수평 사위량은 거의 일치하지 않는 것(negligible agreement)으로 나타났다.

수직사위량 측정결과 값의 차이를 비교해본 결과 전체 피검자의 46%(41명중 19명)에서 일치를 보였다(Fig. 19). Cohen's κ coefficient는 0.10으로 표준검안법과 Test Chart 2000 Pro의 결과가 거의 일치하지 않는 것(negligible agreement)으로 나타났다.

8. Fixation Disparity Test

표준검안법의 편광분리법과 Test Chart 2000 Pro의 Fixation Disparity Test의 수평, 수직 주시시차량으로 분류하여 비교하였다.

수평 주시시차량은 전체의 70.97%(31명중 22명)에서 불일치를 보였으며, 29%(31명중 9명)에서 일치하였다. Cohen's κ coefficient는 0.38로 최소한도의 일치도(minimal agreement)를 나타내었다(Fig. 20).

수직 주시시차량의 측정결과를 비교해 보았을 때 두 시

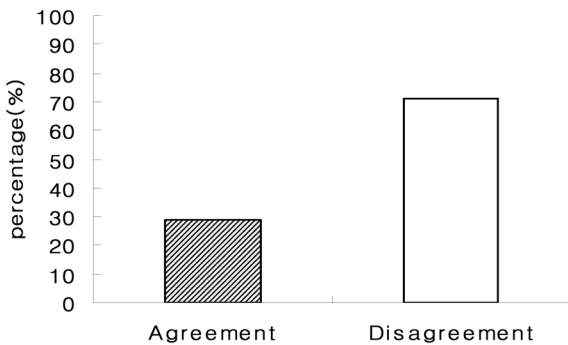


Fig. 20. Agreement of lateral fixation disparity in standard eye test vs fixation disparity test of Test Chart 2000 Pro.

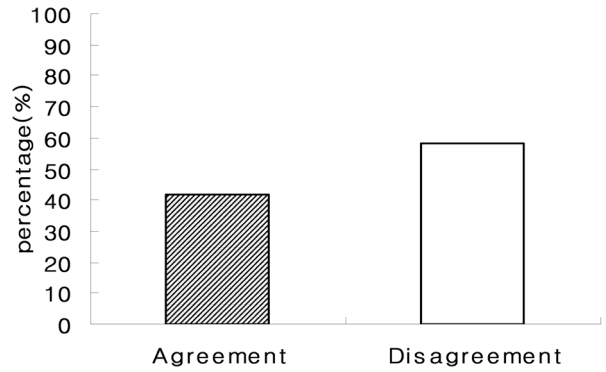


Fig. 21. Agreement of vertical fixation disparity in standard eye test vs fixation disparity test of Test Chart 2000 Pro.

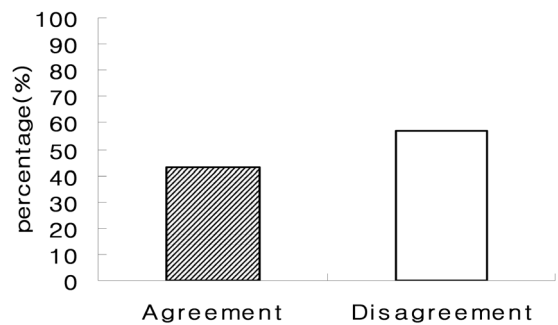


Fig. 22. Agreement of lateral phoria in standard eye test vs worth 4 dot test of Test Chart 2000 Pro.

표에서 41.95%(31명중 13명)가 일치도를 나타내었으나, 58.06%(31명중 18명)에서는 불일치되었다. Cohen's κ coefficient는 0.53으로 어느정도만 일치(fair agreement)하는 것으로 나타났다(Fig. 21).

9. Worth 4 Dot Test

표준검안법과 Test Chart 2000 Pro의 Worth 4 Dot Test를 이용하여 수평 수직 사위량을 비교해보았다.

수평 사위량을 비교한 결과, 43%(30명중 13명)에서 일치하는 것으로 나타났고, 전체 피검자의 57%(30명중 17명)에서는 불일치하는 것으로 나타났다(Fig. 22). Cohen's

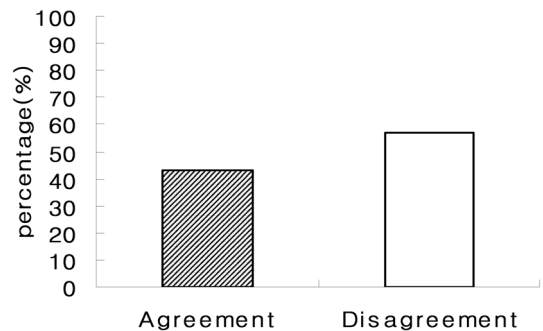


Fig. 23. Agreement of vertical phoria in standard eye test vs worth 4 dot test of Test Chart 2000 Pro.

κ coefficient는 0.451로 어느 정도 일치(fair agreement)하는 것으로 해석된다.

수직 사위량을 비교해본 결과 수평사위 측정결과와 동일한 전체 피검자의 43%(30명중 13명)가 일치하는 것으로 나타났으며, 57%(30명중 17명)에서는 일치하지 않는 것으로 나타났다(Fig 23). Cohen's κ coefficient는 $\kappa=0.451$ 로 어느 정도 일치(fair agreement)하는 것으로 나타났다.

10. Random Dot Stereograms

표준검안법의 Randot시표와 Test Chart 2000 Pro의 Random Dot Stereograms을 일반적 방법과 임의로 부등시를 유발하여 입체시를 비교분석한 결과는 Fig. 24, 25와 같다.

일반적인 방법으로 입체시를 비교해본 결과, 피검자의 93%(86안 중 80안)에서 일치하는 것으로 나타났으며, 7%(86안 중 6안)에서 일치하지 않는 것으로 나타났다. Cohen's κ coefficient는 0.78로 높은 일치도(good agreement)를 보였다(Fig. 24).

(+)구면렌즈를 덧대어 임의로 부등시를 유발하여 입체시를 측정하여 비교한 결과 78%(86안 중 68안)에서 일치를 보였고, 전체 피검안수의 22%(86안 중 18안)에서 불일치하는 것으로 나타났다. Cohen's κ coefficient는 $\kappa=0.59$

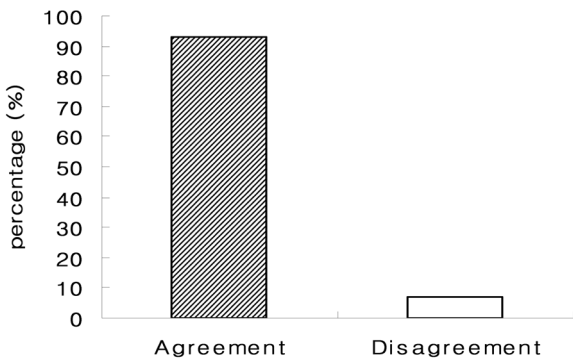


Fig. 24. Comparison of stereograms agreement for normal experiment.

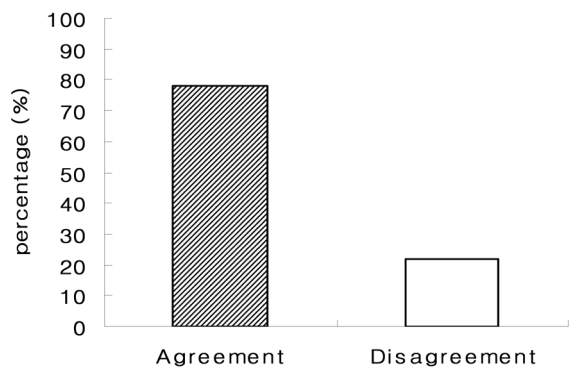


Fig. 25. Comparison of anisopia-causing stereograms agreement.

로 어느 정도 일치(fair agreement)하는 것으로 나타났다 (Fig. 25).

고 찰

표준검안법과 Test Chart 2000 Pro의 10가지 검안항목에 대하여 시력검사(Snellen Chart, LogMAR Chart, Single Letter Chart)와 굴절검사(Fan and Block Test, Cross-cyl Target Test, Duochrome Test, Phoria Test, Fixation Disparity Test, Random Dot Stereograms, Worth 4 Dot Test)로 2부류로 구분하고, 각각의 검안항목에 대하여 비교 고찰하였다.

1. 시력검사

표준 검안법과 Test Chart 2000 Pro의 10가지 검안항목 가운데 3가지 항목을 통하여 시력측정결과를 비교하였다.

먼저 Snellen Chart는 전체 피검자의 87%가 일치하는 것으로 나타났으며, 불일치하는 피검자는 전체의 13%에 불과하였다. 또한 일치하지 않더라도 표준검안법과 Test Chart 2000 Pro에서 시력측정값은 시력표상에서 많아야 한 단계정도의 차이 이내에서 나타났다. Snellen Chart를 이용한 시력검사는 세계적으로 광범위하게 사용되어지는 시표인 만큼 한천석 시력표와 거의 일치하는 것으로 여겨진다.

LogMAR Chart에서 시력측정값을 비교한 결과 전체 피검자의 40%에서 일치하는 것으로 나타났으며, 불일치를 보인 피검자는 전체의 60%로 절반이 넘었다. 통계적으로 유의한 값($p=0.048155$)을 나타낸 것으로 보아 일치하지 않는 것으로 해석되며, 측정결과가 불일치를 보인 피검자가 많았다.

어린이를 대상으로 한 시표인 Single Letter Chart와 한천석 시력표의 나안시력차이는 피검자의 20%에서는 일치를 나타내었으나 전체 피검자의 80%가 불일치하는 결과를 나타내었고, t-test에서 통계적으로 유의한 값($p=0.018469$)이 나타난 것으로 보아 일치하지 않은 것으로 판정된다.

이와 같이 3 종류의 시력검사 가운데 한국표준검안법(한천석 시력표)과 Test Chart 2000 Pro의 시력검사 결과가 통계적으로 일치한 것은 Snellen Chart 한종류 뿐으로 낮은 일치도를 보였다.

2. 굴절검사

표준 검안법과 Test Chart 2000 Pro에서 10가지 항목 중 굴절검사에 해당하는 7가지 항목에 대하여 비교 분석하였다.

먼저 방사전 시표와 Test Chart 2000 Pro의 Fan and Block Test를 비교한 결과 난시량의 일치도는 98%로 거의 대부분의 피검자에서 일치하는 것으로 나타났으며, 난시축의 일치도 또한, 전체 피검자의 82%로 높은 일치도를 나타내었다. 난시량과 난시축 모두 일치하는 경우는 전체 피검자의 81%로 많은 피검자가 일치하였으며, 이러한 결과와 같이 Cohen's κ 계수의 결과에서도 $\kappa=0.8596$ 으로 상당한 일치(excellent agreement)를 나타내었다.

다음으로 표준검안법의 점군시표와 Test Chart 2000 Pro의 Cross-cyl Target Test를 구면 굴절력과 난시 굴절력, 난시축으로 나누어 비교하였다.

구면 굴절력의 경우 전체 피검자의 75%에서 일치하는 것으로 나타났으며, 불일치한 경우는 25% 정도였다. Cohen's κ 계수는 0.9331로 상당한 일치(excellent agreement) 나타내었다.

난시 굴절력에서는 52%의 피검자에서 일치를 보였고, 48%의 피검자에서 불일치를 나타내었다. 일치한 피검자와 불일치한 피검자의 수가 비슷하게 나타나 정확성과 신뢰성을 비교하기 위하여 실시한 Cohen's κ 계수결과는 $\kappa=0.7273$ 으로 표준검안법과 Test Chart 2000 Pro가 일치(good agreement)하는 것으로 나타났다.

난시축의 일치도는 전체 피검자의 49%에서는 일치를 나타냈고, 51%에서는 불일치하는 결과를 나타내었으나 Cohen's κ 계수는 0.7109로 대부분 일치(good agreement)하는 것으로 나타났다.

Duochrome Test에서는 표준 검안법과 비교했을 때 전체 피검자의 90%정도로 많은 일치도를 나타내었고, Cohen's 계수도 0.857로 상당한 일치(excellent agreement)를 나타내었다. Test Chart 2000 Pro를 이용한 Duochrome Test의 경우 시표가 위, 아래로 나뉘어져 있기 때문에 사용하는 모니터의 각도에 따라 시표의 선명도가 달라질 수 있으므로 이에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각된다.

표준 검안법의 프리즘 분리법과 Test Chart 2000 Pro의 Phoria test를 이용한 사위량 비교검사에서는 수평사위와 수직사위로 나누어 검사하였다. 수평사위에서 Cohen's κ 계수는 0.04, 수직사위는 0.10으로 거의 일치하지 않는 것(negligible agreement)으로 나타났다.

Test Chart 2000 Pro의 Fixation Disparity Test에서는 수평 주시시차와 수직 주시시차로 나누어 측정하였다. 편광 분리법과 Fixation Disparity Test의 주시시차 값을 비교해 본 결과, Cohen's κ 계수는 수평 주시시차에서 0.38, 수직 주시시차는 0.53으로 낮은 일치도를 나타내었다. 편광검사법으로 주시시차를 측정할 결과 대부분의 주시시차량이 0.3 Δ 이하의 미소각으로 측정이 매우 어렵기 때문에 편광 검사법의 결과가 아주 정확하다고는 단정할 수는 없으나,

두 검사법의 유의성이 높지 않은 것으로 보아 Test Chart 2000 Pro를 다른 검사법과 병용없이 단독으로 임상에 적용하기에는 문제가 있는 것으로 사료되며, 낮은 일치도를 나타낸 사위량과 주시시차량에 관하여 더 많은 연구와 문제점 보완이 필요할 것으로 생각된다.

Worth 4 Dot Test는 본래 사위검사가 아닌 융합의 판정에 사용되는 검사로써 정상 양안시의 억제 또는 잠복성·현성사시를 결정하는데 유용한 검사방법이다. 하지만 본 연구에서는 이에 적합한 피검자가 부족하여 phoropter의 Worth 4 Dot와 Test Chart 2000 Pro의 Worth 4 Dot Test를 이용한 일치유무를 판단하기 위하여 사위검사를 시행하였다. 수평 사위량과 수직 사위량을 비교분석한 결과 수평·수직 사위량의 Cohen's κ 계수는 모두 0.451로 어느 정도만 일치(fair agreement) 하는 결과를 나타내었다. Worth 4 Dot Test 임상활용을 위해서는 실제 억제환자를 대상으로 한 추가적인 연구의 수행이 필요할 것으로 본다^[20,21].

입체시는 망막시차로 인한 상대적 깊이를 인식하는 것으로 근거리에서 정상적인 입체시는 40초 이상이다^[22]. Randot시표와 Test Chart 2000 Pro의 Random Dot Stereograms을 이용하여 일반적인 방법과 부등시를 유발한 방법으로 나누어 입체시를 측정하였다.

일반적인 방법으로 측정한 입체시는 전체 피검자의 93%로 대부분의 피검자에서 일치하였고, Cohen's κ coefficient는 0.74로 높은 일치도(good agreement)를 보였다. (+)구면렌즈를 덧대어 부등시를 유발하여 측정한 입체시에서는 78%의 피검자에서 일치를 나타내었고, Cohen's κ 계수의 경우 0.50로 어느 정도는 일치(fair agreement)하는 것으로 나타났다. 일반적인 방법으로 측정하였을 때보다 부등시를 유발하여 입체시를 측정하였을 때 일치도가 낮은 것으로 나타났는데 이는 구면렌즈를 덧대어 실험하는 과정에서 수차가 유발되었을 가능성이 있는 것으로 해석할 수 있다.

이와 같이 7종류의 굴절검사 가운데에서도 한국표준검안법(포롭터와 Randot 시표)과 Test Chart 2000 Pro의 결과가 통계적으로 충분히 의미있게 일치한 결과는 4종류의 검사 뿐이었으며, 다른 3종류의 검안항목에서는 통계적인 불일치가 나타났다.

결론

본 연구의 실험 결과를 통해 볼 때, 한국표준검안법과 Test Chart 2000 Pro에서 10종류의 비교실험 항목들 가운데 Snellen Chart, Cross-cyl Target, Duochrome Test, Fan and Block Test, Random Dot Stereograms 등 5종류에서는 양측의 결과가 높은 일치도를 보였으나, LogMAR Chart,

Single Letter Chart, Phoria Test, Fixation Disparity Test, Worth 4 Dot Test 등 다른 5종류에서는 결과에서 많은 차이가 발견되었다. 이러한 결과로 볼 때, Test Chart 2000 Pro는 본 연구에서 기준으로 삼은 한국표준검안법과 일치도가 높지 않기 때문에 타당도(validity)가 낮다고 결론지을 수 있으며, 임상에 적용하기 위해서는 측정의 정확도를 좀 더 향상시키는 개선이 필요하다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-E00135). 본 연구를 위하여 Test Chart 2000 Pro를 제공해주신 City University(London)의 David Thomson 교수님에게 감사를 표합니다. (We sincerely thank to Prof. David Thomson of City University(London), who permitted us to utilize the Test Chart 2000 Pro for this research.) 본 연구의 데이터 수집 및 정리 과정에서 서울산업대학교 안경광학과 학생들의 조력에 감사드립니다. 주제별로 참여한 각각의 학생들 성명과 기여한 부분은 다음과 같습니다.

정장훈, 정종식 (Snellen Chart)
 조혁일, 김창식 (LogMAR Chart)
 고은선, 이지선 (Single Letter Chart)
 김경아, 이남희 (Fan and Block Test)
 장희제, 이상욱 (Cross-cyl Target)
 김종선, 박조한 (Duochrome Test)
 김세균, 이교회 (Phoria Test)
 이재형, 박상조, 윤광석(Fixation Disparity Test)
 유수정, 조정원 (Worth 4 Dot Test)
 박하늘, 백지혜 (Random Dot Stereograms)

참고문헌

- [1] 사이버 안과, Available from: URL: <http://www.cybereyes.co.kr/eyetest/>.
- [2] 송경석, 김태훈, 성아영, “자동 시력표 정확도에 관한 연구”, 한국안광학회지, 10(2):111-118(2005).
- [3] 한천석, “시시력표에 관한 연구”, 대한안과학회지, 5(1):13-22(1964).
- [4] VET Advisory Group, “Eyetest and VDU users”, Applied Ergonomics, 12(4):242-253(1981).
- [5] National Health and Medical Research Council, “Vision and eye-sight tests for visual display terminal(VDT) operators: NHMRC Occupational health guide”, NHMRC, Canberra, Australia(1980).
- [6] Test Chart 2000 Pro Homepage, Available from: URL: <http://www.thomson-software-solutions.com>.
- [7] City University (London) Homepage, Available from: URL: <http://www.city.ac.uk/optometry/research/software/testchart2000pro.html>
- [8] Test Chart 2000 Pro Manual, Available from: URL: http://www.thomson-software-solutions.com/Test_Chart_PRO_Manual.pdf.
- [9] 신영수, 안윤옥, “의학연구방법론”, 초판, 서울대학교출판부, 서울, pp. 123-147(1997).
- [10] 진용한, “새로운 LogMAR 시력표 -진용한 시력표-”, 대한안과학회지, 38(11):2036-2044(1997).
- [11] Vision In Preschoolers(VIP) Study Group, “Visual acuity results in school-aged children and Adults: Lea Symbols chart versus Bailey-Lovie chart”, Optometry and Vision Science, 80(9):650-654(2003).
- [12] 정수정, 김효정, 원찬희, 마기중, “사위측정법의 비교 및 사위도가 입체시에 미치는 영향”, 대한안과학회지, 4(1):19-27(2002).
- [13] 성풍주, “안경광학”, 5판, 대학서림, 서울, pp. 520-537(2003).
- [14] 박성은, 임기환, “개인용 컴퓨터를 이용한 동적 입체시 측정의 신뢰도”, 대한안과학회지, 43(1):149-154(2002).
- [15] Kingdom F. A. A., and Simmons D. R., “Stereo acuity and colour contrast”, Vision Research, 36:1311-1319(1996).
- [16] 김명미, 이봉환, “소아 입체시 검사에 있어서 Lang, Randot, TNO 및 New Stereo tests 의 비교”, 대한안과학회지, 31(5):651-660(1990).
- [17] 박성현, “SPSS와 SAS분석을 통한 실험계획법의 이해”, 초판, 민영사, 서울, pp. 26-30(2005).
- [18] Pease P. L., and Allen J., “A new test for screening color vision: concurrent validity and utility”, American Journal of Optometry and Physiological Opt., 65(9):729-738(1988).
- [19] Landis J. R., and Koch, G. G., “The measurement of observer agreement for categorical data”, Biometrics, 33(1):159-174(1977).
- [20] 강현식, “안경학개론”, 2판, 신광출판사, 서울, pp. 292-299(2002).
- [21] 이세엽, 백승호, “Worth 4-Dot Test와 Polarized 4-Dot Test의 비교”, 대한안과학회지, 39(7):1558-1562(1997).
- [22] 이동욱, 나영수, 이경민, 이종복, “양안의 망막 조도 차이가 입체시에 미치는 영향”, 대한안과학회지, 44(8):1828-1832(2003).

A Comparative Study between Korean Standard Eye Test and Test Chart 2000 Pro

Ji-Hun Kang and Dal-Young Kim

Department of Visual Optics, Seoul National University of Technology

(Received October 26, 2009; Revised February 2, 2009; Accepted March 6, 2009)

Purpose: We investigated validity of a monitor-based computer eye test program, Test Chart 2000 Pro (developed by Thomson Software Solutions, UK). **Methods:** We chose ten common eye tests of the Test Chart 2000 Pro and Korean Standard Eye Test, applying them to same subject groups each by each, followed by comparison and analyses of agreement degree of the results. **Results:** Among the ten eye tests, Snellen Chart, Cross-cyl target, Duochrome test, Fan and Block test, and Random dot stereograms showed statistically significant agreement between both the Korean standard eye test method and Test Chart 2000 Pro. On the other hand, some disagreements were found between the two eye test methods in LogMAR Chart, Single Letter Chart, Phoria Test, Fixation Disparity Test, and Worth 4 Dot Test. **Conclusions:** Comparing to the Korean Standard Eye Test that consists of Han eye chart and Phoropter, validity of the Test Chart 2000 Pro is not so high. Further improvements of the Test Chart 2000 Pro in accuracy are required.

Key words: Test Chart 2000 Pro, Monitor-based eye test, Korean Standard Eye Test