

중심외주시 훈련용 주변부 망막의 생리적 가중에 관한 연구

서재명^{1,*}, 이기영²

¹광양보건대학교 안경광학과, 광양 545-703

²전남대학교 의공학과, 광주 500-757

투고일(2013년 11월 12일), 수정일(2013년 12월 3일), 게재확정일(2013년 12월 14일)

목적: 황반변성을 가진 저시력 환자의 중심외주시 훈련에 사용되는 망막 주변부의 특성을 조사하여 재활치료용 주변시 연구에 도움이 되고자 한다. **방법:** 정상 시각을 가진 30명의 성인 남녀의 우안을 대상으로 중심외에서 20° 이측으로 떨어진 망막 주변부의 생리적 가중을 측정하였다. 표적은 원형의 수직형 정현파였으며 공간주파수 0.7 cpd와 3.0 cpd를 사용하여 공간적 가중과 시간적 가중의 임계값을 비교하였다. **결과:** 0.7 cpd에서 시간적 가중의 임계점은 540 ms, 대비감도는 1.1이었으며 3.0 cpd에서는 315 ms, 대비감도는 0.98이었다. 0.7 cpd에서 공간적 가중의 임계점은 11.3°, 대비감도는 2.8이었으며, 3.0 cpd에서 임계점은 5°, 대비감도는 2.63이었다. **결론:** 주변시는 중심시보다 더 빨리 임계점에 도달한다. 중심외훈련시에는 저주파대역을 대상으로 긴 시간동안 훈련하기 보다 짧은 시간 동안 자주 훈련하기를 권장한다.

주제어: 중심외주시 훈련, 대비감도, 생리적 가중, 간상세포

서 론

시재활치료를 제 때에 받지 못한 연령관련황반변성(age-related macular degeneration)을 가진 저시력 환자는 보통 일상에서 시행착오를 통하여 중심외주시법을 어렵게 터득한다. 이렇게 중심외주시에 사용되는 주변부 망막은 작업의 특성에 따라 각각 망막의 다른 영역이 사용된다.^[1] 예컨대 비측 망막을 사용하여 특정 작업을 수행하다가 독서로 작업을 전환했을 경우 망막에서의 단어 배열은 생리적 암점인 시신경유두부를 통과하여 결상되기 때문에 독서가 부자연스럽기 때문이다. 따라서 중심외주시 훈련시에는 작업의 종류에 따라 망막의 어떤 영역을 선택할 것인지 신중하게 고려해야 한다. 뿐만 아니라, 저시력의 원인이 다양하듯이 해결책의 스펙트럼 또한 방대하며 적절한 시재활훈련법이 환자의 삶의 질에 큰 영향을 줄 수 있다는 점 역시 시재활치료시 반드시 고려해야 하는 사항들이다.^[2,3]

주변시를 연구했던 Fahle와 Schmid^[4]에 따르면 중심외에서 15° 내에서는 이측이나 비측 간 시력차가 없고 상측 시야가 하측 시야보다 시력이 더 좋다고 했다. 그러나 중심외에서 15°를 벗어나면 이측, 비측, 하측, 상측 시야 순으로 시력이 불량해진다고 했다. 황반변성은 보통 망막의

수평 방향으로 진행하기 때문에^[5] 망막의 상부나 하부를 훈련하는 것이 좋지만 병변의 침범 영역이 20°를 초과하지 않고 수직 방향의 주변시력이 불량하기 때문에 일반적으로 수평 방향을 중심외주시 훈련에 많이 사용한다. 또한 중심외에서는 대비감도 검사시 줄무늬의 축방향이 수직일 때 가장 분해력이 높았으나 중심외에서 7° 벗어난 영역부터는 축 방향 간 큰 차이가 없었으나 수평일 때 분해력이 조금 높은 것으로 나타났다.^[6]

생리학에서는 여러 시냅스에서 동시에 오는 신호들을 하나의 뉴런에서 통합하는 작용을 공간적 가중(spatial summation)이라고 한다. 즉, 시냅스후 전위들의 합이 역치값에 도달할 때에 비로소 하나의 활동전위가 만들어지는 것을 말하며 집안학에서는 망막에 결상된 상의 크기가 증가해 역치를 일으키는 순간 비로소 우리가 사물을 인식한다고 해석한다. 한편, 시간적 가중(temporal summation)은 하나의 신경섬유에 전달되는 짧은 신호들이 서로 중첩되어 신호의 증강현상으로 활동전위가 발생하는 것을 말한다. 일반적으로 자극의 크기나 노출시간에 따른 반응의 강도는 비례하지만 특정 순간 이후 자극에 대한 반응은 평행선을 그린다. 과학적 연구에서 그 지점은 자극에 대한 반응을 정량적 그리고 정성적으로 평가할 수 있는 단초를

*Corresponding author: Jae-Myoung Seo, TEL: +82-61-760-1467, E-mail: im2busy@hotmail.com

※본 논문의 일부내용은 2013년도 아시아태평양광안학술대회에서 포스터로 발표되었음.

제공 해준다.

중심시 시기능과 관련하여 대비감도의 질적 등급을 판단할 수 있는 공간적 가중과 시간적 가중에 관한 연구는 많으나⁷⁾ 중심외주시 훈련에 필요한 주변부 시기능에 관한 연구는 많지 않다.^{16,10)} 따라서, 본 연구에서는 독서시 방해를 받지 않는 중심외에서 20° 이측으로 떨어진 망막 즉, 비측 시야의 공간적 가중과 시간적 가중을 측정하고자 한다. 생리적 암점이 없어서 중심외주시 훈련시 잠재적으로 많은 활용도를 갖는 이측 망막의 기능적 특성과 한계를 조사하여 중심외주시 훈련에 필요한 가이드라인을 제시하고자 한다.

대상 및 방법

본 연구는 안질환이 없으며 교정시력이 0.8 이상이며 대비감도 검사가 가능한 성인 남녀 30명을 대상으로 진행하였다. 완전교정 후 우안만을 택하였으며 중심외에서 귀쪽으로 20° 떨어진 부위를 대상으로 하였다. 본 연구에서 사용된 여러 가지 기술적 방법은 저시력 환자의 생리적 가중에 관한 선행연구⁷⁾를 참고하였다. 주변시야의 공간적 가중과 시간적 가중을 검사하기 위해 정신물리학적 검사 프로그램인 Morphome™¹¹⁾을 매킨토쉬와 삼성 CRT 모니터에 구현하였다. 대비감도 검사에서는 양자택일형 검사법(alternative forced choice technique)이 사용되었으며 첫 번째 표적과 두 번째 표적 사이의 인터벌은 560 ms, 대비감도는 0.05 로그 단위로 감소하는 형태의 검사법(descending staircase)을 택하였다. 모니터의 해상도는 640 × 480이었고 주사율은 60 Hz였다. 모니터와 표적의 휘도차를 최소화하고자 22 cm × 15 cm 크기의 직사각형 흰색 마분지를 사용하여 모니터 앞에 부착하였다. 실험 순서에 따른 체계오차(systemic error)와 학습효과(learning effect)를 방지하기 위해 검사거리와 매개변수 간 순서는 엑셀 프로그램을 사용하여 무작위로 정했다.

대비감도 검사시 표적은 원형 구경으로 구성된 수직형 정현파(sinusoidal grating stimuli) 격자무늬를 선택하였으며 표적의 크기에 따른 가중치를 측정하기 위해 사용된 공간주파수(cycle per degree, cpd)는 0.7 cpd와 3.0 cpd로 표적의 크기는 2.57°에서 10°까지 다양하게 시도했다(Table 1). 시간에 따른 가중치를 측정하기 위해 표적의 크기는 2.6°로 유지하면서 각각의 공간주파수에 따라 16 ms 부터 1,216 ms까지 다양하게 측정했다. 저시력 환자를 포함했던 선행연구⁷⁾에서는 시간적 가중을 검사하기 위해 26 ms부터 6,617 ms까지 사용하였으나 본 연구는 저시력 환자를 배제하였기에 표적의 최장 노출시간으로 1216 ms를 택하였다(Table 2). 공간주파수 0.7 cpd와 3.0 cpd에 따

Table 1. Parameters for temporal summation

Spatial frequency (cpd)	Distance (cm)	Degree (°)	Duration (ms)
0.7	40	2.57	16, 116, 333, 766, 1216
3.0	114	2.65	16, 116, 333, 766, 1216

Table 2. Parameters for spatial summation

Spatial frequency (cpd)	Distance (cm)	Duration (ms)	Degree (°)
0.7	40	333	2.57, 3.86, 5.14, 7.54, 10
3.0	114	333	2.65, 3.61, 5.15, 7.14, 7.69

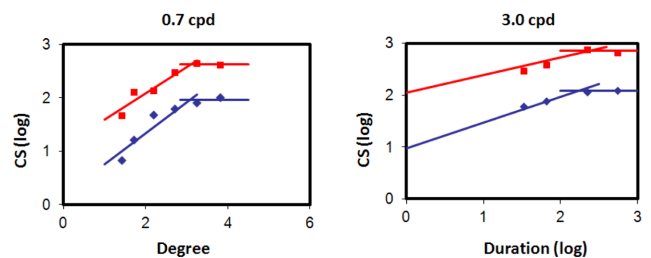


Fig. 1. The schema showing the method to determine the intersected point (critical point).

른 검사거리는 각각 40 cm와 114 cm였다. 피검자의 주시점은 검사거리에 따라 모니터 중심에서 20° 떨어진 우측 2곳에 표시했으며 대비감도는 명소시하에서 측정했다.

데이터 값의 임계점 결정은 Seo⁷⁾가 제안한 방법에 따라 그래프에서 마지막 데이터 값과 그보다 바로 앞선 값의 평균값에서 그들의 표준편차와 신뢰구간 95%인 1.96의 곱을 뺀 값이 뒤에서 세 번째 점의 데이터 값보다 크면 그 두 점의 평균값을 x축과 평행하게 작도하고 남은 각각의 데이터 값은 회귀방정식을 이용해 추세선을 구하여 작도했다. 만약 선택했던 두 값의 데이터의 확률적 평균값이 뒤에서 세 번째 데이터 값보다 작으면 그 데이터 값을 포함시켜 위의 과정을 반복하여 평균값이 마지막 포함시킨 값보다 클 때까지 시행한다. 이렇게 하여 두 직선이 만나는 지점의 x축 값을 읽어 임계점을 구했다(Fig. 1).

결 과

총 30명의 성인 남녀(24.8 ± 1.1세)를 대상으로 황반부의 중심외에서 이측으로 20° 떨어진 망막 부위를 대상으로 대비감도 검사를 하였다. 개인당 검사시간은 평균 45분이 소요되었으며 검사 중 피검자의 집중력이 떨어지거나 지루해하면 10분 간 휴식 후 검사를 지속하였다. 시간적 가중에서의 공간주파수간 통계적 유의성이 없었으나 ($p > 0.13$) 공간적 가중에서의 공간주파수 간 비교는 소프트

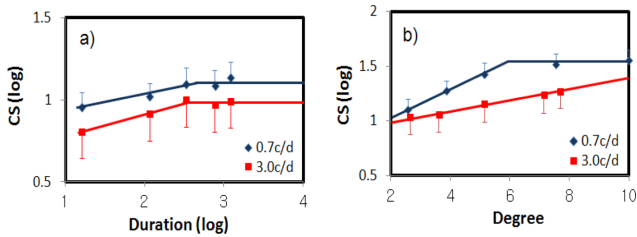


Fig. 2. The mean value of temporal summation (a) and spatial summation (b).

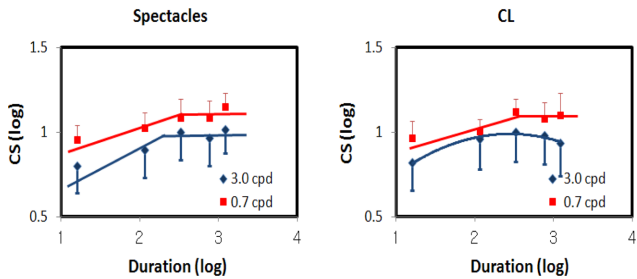


Fig. 3. The mean value of temporal summation in group with spectacles (left) and with contact lens (right).

웨어의 기술적인 이유로 각 주파수간 변량이 달라 비교할 수 없었다. 임계점은 0.7 cpd에서 2.5, 3.0 cpd에서 2.73이 얻어졌으며 공간주파수에 따른 임계점 간 대응표본 T검정 결과 유의확률 값 $p < 0.01$ 로 유의한 차이를 보였다. 공간적 가중에서의 임계점은 0.7 cpd에서 6.02가 얻어졌으나 3.0 cpd에서는 지속적인 상승세를 보였다(Fig. 2).

안경렌즈 착용자 20명과 콘택트렌즈 착용자 10명을 분리하여 각각 시간적 가중을 비교하여 보았다(Fig. 3). 안경 착용 군과 콘택트렌즈 착용 군 간 임계점의 통계적 유의성 검증에서 0.7 cpd에서는 차이가 없었으나($p=0.35$) 3.0 cpd에서는 군 간 통계적 유의함이 있었다($p < 0.001$). 안경을 착용한 군에서 공간주파수가 0.7 cpd 일 때 2.8, 3.0 cpd 일 때 2.6에서 임계점이 구해졌으나 상호 차이는 없었다($p > 0.05$). 한편, 콘택트렌즈를 착용한 군에서는 공간주파수가 0.7 cpd 일 때 임계점이 2.6에서 구해졌으나 3.0 cpd에서는 2.2를 기점으로 감소하는 형태의 추세를 보였다.

안경렌즈 착용자 20명과 콘택트렌즈 착용자 10명을 분리하여 공간적 가중을 비교하여 보았다(Fig. 4). 안경을 착용한 군에서 공간주파수가 0.7 cpd 일 때 임계점은 5.9에서 구해졌으나 3.0 cpd에서는 대비감도가 계속해서 증가하는 추세를 보였다. 콘택트렌즈를 착용한 군에서 공간주파수가 0.7 cpd 일 때 임계점은 6.5에서, 3.0 cpd에서는 5.9에서 구해졌다($p < 0.05$). 안경착용 군과 콘택트렌즈 착용 군 간 임계점의 통계적 유의성 검증에서는 0.7 cpd에서는 차이가 있었으나($p < 0.05$) 3.0 cpd에서는 안경착용 군에서 대비감도 증가 추세로 인해 통계적 비교는 할 수 없었다.

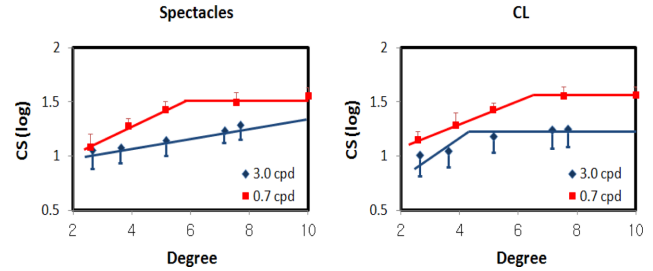


Fig. 4. The mean value of spatial summation in group with spectacles (left) and with contact lens (right).

고찰 및 결론

우리의 시각 체계는 사물을 정교하고 분명하게 그렇지만 미세한 각도로 중심외에 입사하는 중심 시자극과 망막 전체를 아우르지만 그보다 덜 분명한 주변 시자극으로 구성된다. Nakayama는 시각적 탐지(visual search), 색맹, 다중작업(multitasking)에 관한 실험을 통하여 시각적 분석과정은 마치 병목현상(bottleneck)과 같다고 했다.^[12] 즉, 황반을 제외한 망막 전역에 결상된 주변시 자극은 대뇌가 중심시 분석에 집중하며 부분과 전체에 대한 균형감 있는 해석을 할 수 있도록 끊임없이 보이지 않는 역할을 한다는 것이다.

최근 황반변성으로 인해 중심시가 불가능한 저시력 환자의 재활치료로써 중심외주시 이른바 주변부 망막 훈련이 소개되고 있다. 그러나 주변시는 중심외에서 편심도(eccentricity)가 커질수록 분해능이나 대비감도가 감소한다.^[6] 여러 가지로 설명이 가능하나 태생적으로 망막 주변부는 사물의 정확한 인식보다 사물의 움직임에 민감한 간상세포가 밀집되어 있기 때문이며 중심외에서는 시냅스 간 연결이 일대일로 간절하지만 중심외 이외의 영역에서는 수많은 신호들이 서로 강력하게 통합(neural convergence)되어 V1으로 전달되는데 이렇게 통합된 신경신호를 V1이 다시 변환하기가 여간 까다롭지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 fMRI를 이용하여 중심외주시를 하는 황반변성 환자와 정상인 간 뇌 활성화를 비교하는 연구에서 황반변성 환자의 시각 피질부(calcarine sulcus)에서 방대한 시신경 재조직화(large scale cortical reorganization of visual processing)가 일어나 환자의 일상생활에 고무적인 변화를 가져왔다고 밝혔다.^[13] 또한, 연령관련황반변성을 가진 저시력 환자를 대상으로 5시간 동안 중심외주시 훈련을 했던 연구에서는 훈련 전 분당 9 ± 5.8 개의 단어를 읽었던 저시력 환자들이 68.3 ± 19.4 개의 단어를 읽어내어 기적적인 시기능 향상을 보였으며,^[14] 기타 연구^[15]에서도 중심외주시 훈련의 효과에 대하여 보고하였다. 주변시는 대비감도나 분해력이 떨어진다는 해부구조학적 결함에도 불구하고

앞서 소개한 여러 연구 결과에 의하면 주변시 재활훈련은 시각의 기능적 개선을 제공할 수 있다. 이에 본 연구에서는 중심외주시 훈련에 동원되는 주변부 망막, 특히 중심와에서 20° 이측으로 떨어진 망막의 생리를 좀 더 근본적으로 규명하기 위해 생리적 가중 실험을 하였다.

정상인의 주변시야를 연구한 Rovamo^[6]에 의하면 중심와에서 약 20° 편심된 망막의 최고 분해력은 약 4 cpd라고 하였으므로 본 연구에서 사용된 공간주파수 0.7 cpd와 3.0 cpd는 적절했다고 판단된다. 먼저 10명의 소프트콘택트렌즈 착용자와 안경 착용자 20명의 시간적 가중을 3.0 cpd에서 비교해 보았다. 흥미롭게도 콘택트렌즈 착용자 군은 2.2(log unit, 이하 생략) 즉, 157 ms에서 최고의 대비감도를 보였으며 이후 감소하는 추세를 보였다. 일반적으로 대비감도는 사물의 노출시간이 증가할수록 증가하거나 유지되어야 한다. 추정컨대, 사물의 노출시간 증가는 순목횡수를 감소시켰고 이것은 다시 소프트콘택트렌즈 표면을 건조시켜 임계점과 대비감도를 현저하게 떨어뜨렸다고 생각한다.

중심시의 시간적 가중을 연구한 보고^[7]에 의하면 0.7 cpd에서 임계점은 550 ms, 대비감도는 2.58이었으며, 3.0 cpd에서 임계점은 662 ms, 대비감도는 2.6이었다. 20° 편심된 주변부 망막에서 시간적 가중의 임계점은 0.7 cpd에서 임계점은 540 ms, 대비감도는 1.1이었으며 3.0 cpd에서 임계점은 315 ms, 대비감도는 0.98로 나타났다. 중심시와 주변시 간 0.7 cpd를 사용한 시간적 가중에서 임계값의 차는 10 ms, 대비감도의 차이는 1.48이었다. 사물의 노출시간이 길수록 시각적 식별력은 증가하지만 특정 시간 이후부터는 평행선을 달린다. 특히 0.7 cpd의 저역대 주파수에서 주변시와 중심시 간 시간적 가중에는 차이가 없다고 볼 수 있으나 식별력에 있어서는 중심시가 1.48만큼 더 크다고 볼 수 있다. 한편, 중심시와 주변시 간 3.0 cpd에서는 347 ms, 대비감도에서는 1.62로 나타나 예상대로 임계점이나 대비감도에서 상당한 차이를 보였다. 3.0 cpd에서 중심시의 대비감도가 주변시보다 1.62만큼 더 높게 측정된 것은 저역대에서 보다 고역대 주파수로 갈수록 주변시 기능은 더 떨어지리라 사료된다.

중심시의 공간적 가중을 연구한 보고^[7]에서 도출된 표적의 크기는 사이클의 개수로 표현되었기 때문에 본 연구와의 원활한 비교 분석을 위해 °(도)단위로 변환하여 본 연구의 공간적 가중과 비교했다. 중심시에서 0.7 cpd의 임계점은 11.3°, 대비감도는 2.8이었으며, 3.0 cpd에서 임계점은 5°, 대비감도는 2.63이었다. 20° 편심된 주변부 망막에서 공간적 가중의 임계점은 0.7 cpd에서 임계점은 6.05°, 대비감도는 1.1이었으며 3.0 cpd에서 대비감도는 계속해서 증가했다. 공간적 가중에서 3.0 cpd에서는 소프트웨어

의 기술적 한계로 8° 이상의 표적을 구현할 수 없었던 데에 한계가 있었다고 생각한다.

요컨대, 주변시는 중심시보다 더 빨리 임계점에 도달한다. 이것은 원숭이(macaque)의 뇌에서 밝혀진 바와 같이 사물의 존재 혹은 움직임을 포착하고 초당 15 m로 신속한 신호 전달속도를 고유한 특성으로 갖는 M세포(간상세포)^[16]가 가장 큰 영향을 주었을 것으로 추정한다. 나아가 간상세포가 원추세포에 비해 피로해졌다고 볼 수 있다. 따라서 황반변성을 가진 저시력 환자를 대상으로 하는 중심외주시 훈련시 간상세포의 특성에 따라 긴 시간동안 훈련하기보다 짧은 시간동안 자주 반복하는 것이 보다 효율적이라고 판단된다.

REFERENCES

- [1] Wertheim T, Peripheral visual acuity: Th. Wertheim, Trans. Dunskey, I.L. American Journal of Optometry and Physiological Optics. 1980;57(12):915-924.
- [2] Maino JH, Carty RE. Part II. Victors: A model for the provision of low vision services to the partially sighted veteran. J Am Optom Assoc. 1983;54(11):991-993.
- [3] Watson GR, De l'Aune WR, Stelmack JA, Maino JH, Long S. National survey of the impact of low vision device use among veterans. Optom Vis Sci. 1997;74(5):249-259.
- [4] Fahle M, Schmid M. Naso-temporal asymmetry of visual perception and of the visual cortex. Vis Res. 1988;28(2):293-300.
- [5] Cheung SH, Legge GE. Functional and cortical adaptations to central vision loss. Vis Neurosci. 2005;22(2):187-201.
- [6] Rovamo J, Virsu V, Laurinen P, Hyvarinen L. Resolution of gratings oriented along and across meridians in peripheral vision. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1982;23(5):666-670.
- [7] Seo JM. Analysis of the visual function in low vision patients and normals in Canada, using contrast sensitivity. J Korean Oph Opt Soc. 2009;14(3):83-88.
- [8] Luntinen O, Rovamo J, Nasanen R. Modelling the increase of contrast sensitivity with grating area and exposure time. Vis Res. 1995;35(16):2339-2346.
- [9] Rovamo J, Luntinen O, Nasanen R. Modelling the dependence of contrast sensitivity on grating area and spatial frequency. Vis Res. 1993;33(18):2773-2788.
- [10] Balas B, Nakano L, Rosenholtz R. A summary-statistic representation in peripheral vision explains visual crowding. J Vis. 2009;9(12):13.1-18.
- [11] Tyler CW, McBride B. The morphonome image psychophysics software and a calibrator for macintosh systems. Spatial Vis. 1997;10(4):479-484.
- [12] Nakayama K. The iconic bottleneck and the tenuous link between early visual processing and perception. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1990;411-422.

- [13] Schumacher EH, Jacko JA, Primo SA, Main KL, Moloney KP, Kinzel EN et al. Reorganization of visual processing is related to eccentric viewing in patients with macular degeneration. *Restor Neurol Neurosci*. 2008;26(4-5):391-402.
- [14] Nilsson UL, Frennesson C, Nilsson SE. Patients with AMD and a large absolute central scotoma can be trained successfully to use eccentric viewing, as demonstrated in a scanning laser ophthalmoscope. *Vis Res*. 2003;43(16):1777-1787.
- [15] Schreckenbach U. Untersuchung zum Erfolg einer adaptierten Variante des exzentrischen Sehtrainings nach Nilsson bei Sehbehinderungen mit Zentralskotom. Diplomarbeit, Fachhochschule Jena, Germany. 2006.
- [16] Sharpley R, Lam DM-L. Contrast sensitivity; Proceedings of the retina research foundation symposia, Vol 5. London: The MIT Press, 1993;201-213.

Study on Physiological Summation in Peripheral Retina for Eccentric Viewing Training

Jae-Myoung Seo^{1,*} and Ki-Young Lee²

¹Dept. of Optometry, Gwangyang Health College, Gwangyang 545-703, Korea

²Dept. of Biomedical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

(Received November 12, 2013; Revised December 3, 2013; Accepted December 14, 2013)

Purpose: This study was to investigate peripheral vision and provide people with macular degeneration with a guideline for eccentric viewing training. **Methods:** 30 adult subjects with normal vision took part in this study. The lateral area of 20° eccentricity from the fovea of right eye was only used to measure the physiological summation. The target was sinusoidal vertical gratings within a circular aperture. The critical points in spatial and temporal summation was found to compare each other for 0.7 cpd and 3.0 cpd, respectively. **Results:** Critical duration and contrast sensitivity for 0.7 cpd were 540 ms and 1.1, and 315 ms and 0.98 for 3.0 cpd respectively. The critical degrees and contrast sensitivity for 0.7 cpd were 11.3° and 2.8, and 5° and 2.63 for 3.0 cpd respectively. **Conclusions:** The critical point in peripheral vision reaches relatively faster than the one in central vision. It is recommended to train the peripheral retina under the lower spatial frequency more frequently for a short time than constantly for a long time.

Key words: Eccentric viewing training, Contrast sensitivity, Physiological summation, Rod cell