

## 중심외주시 훈련 후 망막 외망상층에서의 신경 재조직화

서재명\*

광양보건대학교 안경광학과, 광양 545-703

투고일(2014년 05월 10일), 수정일(2014년 06월 2일), 게재확정일(2014년 6월 18일)

**목적:** 단기간의 중심외주시 훈련 후 발생하는 신경의 재조직화의 특성과 호발 위치를 알아보고자 했다. **방법:** 정상시력을 가진 성인 14명을 대상으로 21일 간 중심외주시 훈련을 하고 훈련 전후 광저각도와 다국소망막전위도를 측정하여 사후 분석했다. **결과:** 중심외주시 훈련 전후 값을 비교한 광저각도 검사( $p < 0.047$ )에서 뿐만 아니라 다국소망막전위도 검사에서도 유의한 개선을 보였다( $p < 0.028$ ). **결론:** 시각 말초신경계는 재생이 불가능하지만 단기간의 중심외주시 훈련은 말초신경계에서 신경 재조직화를 발생시킨다.

**주제어:** 중심외주시 훈련, 광저각도 검사, 다국소망막전위도 검사, 신경 재조직화

### 서론

출생 직후 단안을 차폐하면 대측안의 입력신호를 받는 시각중추신경계의 기둥(ocular column)은 확장되며 차폐된 눈의 신호를 받는 시각 기둥은 축소된다. 그러나 반대로 개폐했던 눈을 차폐하고 차폐했던 눈을 개폐하면 반대 현상이 일어난다.<sup>[1]</sup> 따라서 중추신경계의 시각피질의 축삭과 그 시냅스들은 출생 후에도 여전히 역동적이라고 볼 수 있다. 이러한 가변성을 신경의 가소성(neural plasticity) 혹은 신경의 재조직화(neural reorganization)라고 하며 이러한 신경의 활성화는 특히 출생 후 유아기에 가장 크다.<sup>[2,3]</sup> 사람의 양안시 기능과 가장 유사한 짧은 꼬리 원숭이(macaque)의 시각피질 가소성은 출생 후 6주까지 급격히 증가하며 청소년기 직전까지 유지되지만 이후 급격히 감소하여 전체 시냅스의 50%가 2년여 시간동안 사멸(apoptosis)된다.<sup>[4]</sup> 즉, 시각피질은 그 특정시기가 지나 성인이 되면 경험에 의해서 변화할 수 있지만 그 변화의 정도나 속도는 현저하게 떨어지는 것을 암시하며 이것은 왜 약시 치료의 경우 서두르는 것이 좋은지를 잘 뒷받침 해준다.

신경 재조직화는 뉴런(neuron)의 시냅스(synapse) 개수가 증가하고 배열 구조가 달라지는 것을 의미한다. 규칙적인 운동은 신체 기능을 증가시키고 규칙적인 학습은 기억력을 향상시킨다. 신경의 재조직화는 평생 동안 일어나지 않는다. 이러한 구조적 변화를 일으키게 하는 결정적 시기(critical period)가 존재하며 신경의 재조직화

는 원숭이의 경우 6주 정도까지 지속된다. 양안의 활성화가 동시에 이루어지고 그 강도가 동일하다면 두 입력은 같은 피질세포 상에 그대로 유지될 것이다. 그러나 이러한 균형이 깨어지면 보다 활성화된 쪽 눈이 차단된 쪽 눈의 시냅스를 대체하거나 낮은 효율성을 가지게 만들 것이다.

중심외주시 훈련(eccentric viewing training)을 통한 신경 성형이 주변부 망막의 외망상층인 광수용세포나 양극세포에서 발생했는지 중추신경계(central nerve system)에서 발생했는지 알아보기 위해 다국소망막전위도(multifocal electroretinogram) 검사 결과와 광저각도 검사 결과를 교차 분석하였다. 다국소망막전위도는 광수용세포와 양극세포에서의 전하를 측정할 수 있으며<sup>[5]</sup> 광저각도 검사는 정신물리학적 검사로 망막의 한정된 구간에서 점광(spot light)의 인식력을 측정할 수 있다. 따라서 다국소망막전위도로 시각 말초신경의 반응을 알 수 있으며 광저각도로 시각 신경의 전체 반응을 예상할 수 있다고 볼 수 있다. 중심외주시 훈련 전후 광저각도의 변화량과 다국소망막전위도의 변화량으로 상관관계를 유추해보고 각 검사에서 변화량의 차이를 비교하여 신경 재조직화의 위치를 추정해보고자 하였다. 가령, 다국소망막전위도에서 중심외주시 훈련 전후 변화량이 광저각도의 변화량 보다 크다면 신경 가소성은 망막의 외망상층 즉, 시각 말초신경계인 광수용세포와 양극세포에서 발생했음을 암시하며 만약, 광저각도의 변화량이 더 크게 나타난다면 전체 신경계 반응이 크다는 것을 암시하므로 말초 신경계 뿐만 아니라 중추신

\*Corresponding author: Jae-Myoung Seo, TEL: +82-61-760-1467, E-mail: jaemyoung.seo@gy.ac.kr

경계에서도 어느 정도 발생했다고 볼 수 있다.

**대상 및 방법**

주변부 망막을 대상으로 중심외주시 훈련에 대한 시기능의 변화를 알아보기 위해 본 연구는 2013년 8월부터 2013년 12월까지 5개월에 걸쳐 진행되었다. 연구에 참가한 대상자는 신체적 이상이나 안질환 및 안과적 수술 경험이 없고 현재 복용하는 약물이 없으며 교정시력이 0.8이상인 성인 남녀 14명을 대상으로 하였다. 참가자들은 완전교정 후 좌안을 차폐하고 우안만을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 중심외주시 훈련 동안 대상자들의 집중력 유지를 위해 음성이 지원되는 드라마를 선택하였으며 통제된 공간에서 매일 한 시간씩 21일 동안 모두 함께 시청하였다. 영상은 암실에서 빔프로젝터를 사용하여 흰색 벽에 영사시켰다. 참가자들은 좌안을 차폐한 채 완전 교정된 우안을 사용하여 영상에서 오른쪽으로 20° 떨어진 벽에 표시된 지점을 주시하면서 좌측 벽에 영사된 영상을 인식하도록 하였다. 참가자 개개인이 주시해야 할 주시점은 스크린까지의 거리에 따라 각각 계산해 표시했다. 망막의 이측 20°를 중심외주시 훈련 영역으로 선택한 이유는 황반변성이 진행되면 보통 20°를 벗어나지 않으며<sup>[6]</sup> 황반 주변 20°에서의 분해능은 위치와 상관없이 거의 비슷하기 때문이다.<sup>[7]</sup>

시야 30°까지 광각각도를 측정할 수 있는 Carl Zeiss Meditec 사의 Humphrey Field Analyzer II 740-12200-3.5를 사용했다. 배경의 휘도는 31.5ASB 즉, 10 cd/m<sup>2</sup>였으며 하향식 휘도 감소 체계는 24-2 SITA-standard(Swedish Interactive Threshold Algorithm)를 따랐다. 표적의 공간주

파수는 0.5 cpd였으며 시간주파수는 18 Hz였다. 결과의 신뢰도를 높이기 위해 위양성 이상(false positive errors) 항목 값이 14%를 초과하면 중단하고 다시 측정하였다. 훈련된 이측 망막의 20° 영역 부근을 측정한 임의의 영역 데시벨 값의 평균 값을 취하였다(Fig. 1). 뿐만 아니라, 위약 효과(placebo effect)의 개입 여부를 알아보기 위하여 생리적 암점이 위치한 비측을 제외한 중심부와 위쪽 그리고 아래쪽 망막의 각각 3곳의 영역의 훈련 전과 후의 데시벨 값의 변화를 추가로 비교하였다.

다국소망막전위도 측정을 위해 Reti-port/scan 21 (Roland Consult, Brandenburg, Germany)을 사용했으며 ISCEV<sup>[8]</sup>가 제시한 표준지침과 국내의 선행연구<sup>[9]</sup>를 따랐다. 표적 노출은 37-segments 방식을 선택했으며 75 Hz를 가진 CRT 모니터에 구현했다. 모니터와 검사안과의 거리는 29 cm였으며 환자의 턱은 턱받침에 고정하고 피검자가 모니터 중심의 적색 고시점과 시선이 일치하도록 턱받침의 높낮이를 조정하였다. 화면상에 61개의 육각형으로부터 유사 랜덤 시퀀스(pseudo-random sequence)를 따른 2채널 방식(binary m-sequence)을 채택하여 60 Hz의 속도로 흑백의 교차 자극을 발생시켰다. 표적이 갖는 총 시야각은 30°이며 육각형의 표적은 각각 흰색(200 cd/m<sup>2</sup>)과 검은색(1 cd/m<sup>2</sup>)으로 깜빡였다. 단극 ERG-jet 각막 콘택트렌즈 전극에 1% methylcellulose를 묻힌 후 피검자의 우안에 착용시켰다. 대측안은 차폐시키고 접지전극(ground electrode)은 미간 중심에서 3 cm 상방의 이마에 부착하였고 기준전극(reference electrode)은 검사안의 외안각 부위에 부착했다. 전극은 접지할 피부를 세정제로 잘 닦은 후 전도성 크림을 발라 부착하였으며 피부전극사이의 저항 값이 10k 이하가 되게 하였다. 기록되는 파형은 초기 음성과 N1, 초기 양성파 P1, 후기 음성파를 N2로 하였다. 측정 시간은 총 8개의 세션을 합해 약 4분 가량 소요되었다. 망막전위를 측정하는 동안 피검자의 눈은 비디오로 촬영이 되어 피검자의 응시 상태를 체크할 수 있었다. 훈련된 이

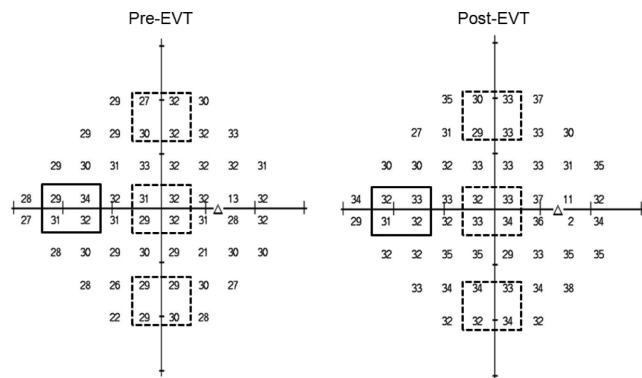


Fig. 1. Comparison of the light perception in dB(decibel) precentric viewing training(EVT) to post-EVT. Not only trained retinal locus, but also superior, inferior and the central loci were compared. Medial locus was excluded due to the optic disk.

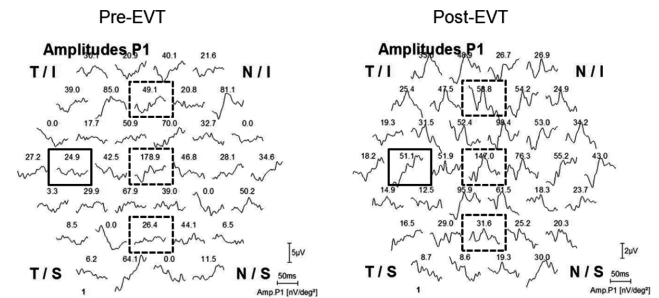


Fig. 2. The multifocal electroretinogram (mfERG) in relation to retinal anatomy. The mfERG stimulus overlaid on the retina. The responses are express in units of density (nV/deg<sup>2</sup>).

측 망막의 20° 영역 부근의 전위 값을 취하여 훈련 전의 전위 값과 비교하였다(Fig. 2). 뿐만 아니라, 광지각도의 훈련 전후 비교 분석 방법을 따라 생리적 암점이 위치한 비측을 제외한 중심부와 위쪽 그리고 아래쪽 망막의 각각 3곳의 영역의 훈련 전과 후의 변화를 추가로 비교하였다.

**결 과**

중심와에서 이측으로 20° 떨어진 망막 주변부를 대상으로 중심외주시 훈련 전후 광지각도 검사에 참석한 성인 남녀 13명(24.4±4.9)만을 대상으로 하였다. 개인당 검사 시간은 훈련 전후 각각 평균 10분이 소요되었다. 중심외주시 훈련 전과 후 데시벨 값을 비교한 광지각도 검사에서는 유의한 개선을 보였다(p<0.047). 피검자 한 명을 제

외하고 모두 훈련 전에 비해 훈련 후 망막의 기능적 개선을 보였다. 추가로 중심외주시 훈련을 하지 않은 망막 중심부(p<0.63)와 망막 상부(p<0.15) 그리고 망막 하부(p<0.21)는 훈련 전에 비해 전체적으로 개선을 보였으나 통계적 의미는 없었다. 특히 망막 중심부는 훈련 전과 후 거의 변화가 없는 것으로 나타났다(Fig. 3).

성에 따른 광지각도의 차이를 분석했다. 훈련 전과 후의 이측 시야 뿐만 아니라 중심부, 상측, 하측 망막 모두 여성(n=6)이 남성(n=7)보다 전체적으로 높았으나 통계적 의미는 없었다. 망막의 상부와 하부 간 광지각도는 망막 하부가 더 높게 나타났다(Fig. 4).

중심와에서 이측으로 20° 떨어진 망막 주변부를 대상으로 중심외주시 훈련 전후 다국소망막전위도검사에 참석한 성인 남녀 14명(24.6±4.8)만을 대상으로 하였다. 개인당 검사 시간은 훈련 전후 각각 평균 15분이 소요되었다. 중

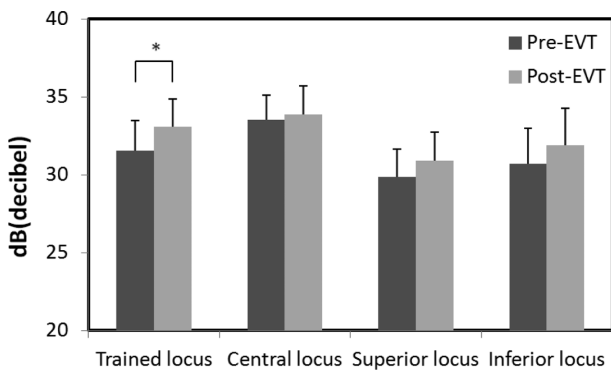


Fig. 3. Comparison of the light perception in decibel between pre- and post-eccentric viewing training (EVT) for the retinal localization. The difference of light perception between Pre-EVT and Post-EVT reached statistical significance on the trained locus at the level of \*, p<0.046 but for the other loci there was no significant difference.

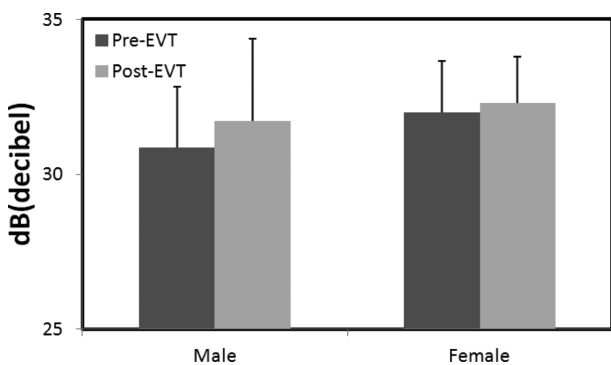


Fig. 4. Comparison of the decibel for the trained retinal locus between male and female. Although there was no significant difference after the eccentric viewing training (p>0.5 and p>0.75 for male and female, respectively), it showed that the light sensitivity for the trained retinal locus for both groups was improved.

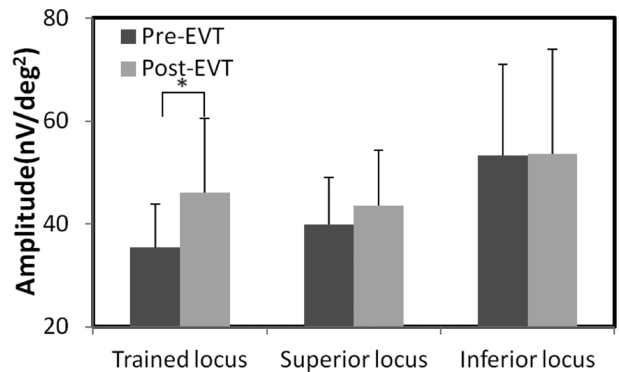


Fig. 5. Comparison of the electroretinogram in nV/deg² between pre- and post-eccentric viewing training (EVT) for the retinal localization. The difference of the amplitude between Pre-EVT and Post-EVT reached statistical significance on the trained locus at the level of \*, p<0.028 but for the other loci there was no significant difference.

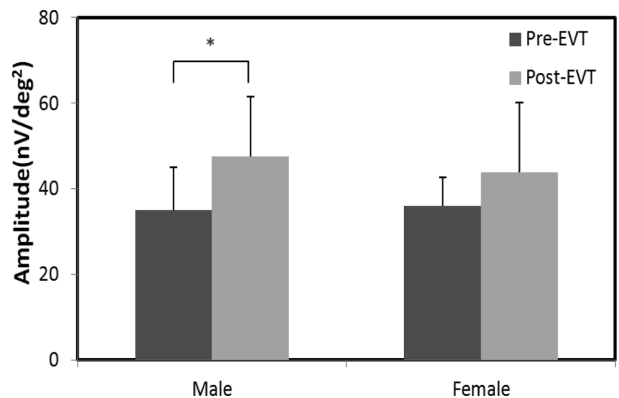


Fig. 6. Comparison of the amplitude for the trained retinal locus between male and female. There was no significant difference for both groups (p=0.05 and p>0.3 for male and female, respectively).

심외주시 훈련 전과 후 전위 값을 비교한 다국소망막전위도 검사에서는 유의한 개선을 보였다( $p < 0.028$ ). 피검자 두 명을 제외하고 모두 훈련 전에 비해 훈련 후 망막의 기능적 개선을 보였다. 추가로 중심외주시 훈련을 하지 않은 망막 상부( $p < 0.27$ ) 그리고 망막 하부( $p < 0.96$ )는 훈련 전에 비해 전체적으로 개선을 보였으나 통계적 의미는 없었다. 특히 망막 하부는 훈련 전과 후 거의 변화가 없는 것으로 나타났다(Fig. 5).

성에 따른 다국소망막전위도와의 차이를 분석했다. 중심외주시 훈련 전후 여성( $p > 0.3$ )보다 남성( $p = 0.05$ )에서 유의미한 차이를 보였다(Fig. 6). 훈련 전과 후의 이측 시야와 상측, 하측 망막 모두 여성( $n = 6$ )이 남성( $n = 8$ )보다 전체적으로 높았으나 통계적 의미는 없었다. 망막의 상부와 하부 간 망막전위도 비교에서 망막 하부가 더 높은 것으로 나타났다.

**고찰 및 결론**

황반의 장애로 중심시가 불가능한 저시력 환자의 경우 시제활치료의 일환으로 중심외주시 훈련이 처방되기도 한다. 그러나 주변시는 황반과 다르게 중심외에서 멀어질수록 분해능이나 대비감도가 감소한다. 이것은 망막 주변부가 사물의 정확한 인식보다 사물의 움직임에 민감한 간상세포가 밀집되어 있기 때문이며 중심외에서는 시냅스 간 연결이 일대일로 간결하지만 중심외 이외의 영역에서는 수많은 신호들이 서로 강력하게 통합되는데 이렇게 통합된 신경신호를 시각피질이 해독(decoding)하기가 여간 까다롭지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 기능성자기공명영상(fMRI)을 이용하여 중심외주시를 하는 황반변성 환자와 정상인 간 뇌 활성화를 비교하는 연구에서 황반변성 환자의 시각 피질부(calcarine sulcus)에서 방대한 시신경 재조직화가 일어나 환자의 일상생활에 고무적인 변화를 있었음을 시사했다.<sup>[10]</sup> 또한 연령관련황반변성을 가진 저시력 환자를 대상으로 5시간 동안 중심외주시 훈련을 했던 연구에서는 중심외주시 훈련 전 분당  $9 \pm 5.8$ 개의 단어를 읽었던 저시력 환자들이 중심외주시 훈련 후  $68.3 \pm 19.4$ 개의 단어를 읽어내어 기적적인 시기능 향상을 보였으며<sup>[11,12]</sup> 기타 연구<sup>[13]</sup>에서도 중심외주시 훈련의 효과에 대하여 보고했다. 이들은 분명히 신경계 변화가 있었음을 암시해준다. 당뇨망막병증 환자 군을 대상으로 험프리 시야검사의 역치와 다국소망막전위도 결과의 진폭, 반응도 달시간의 변화를 분석한 국내 연구에 의하면 환자군의 망막전위도의 진폭이 대조군에 비해 유의하게 감소했으며 황반부에서 7도 가량 떨어진 지점에서 N1에서 P1까지의 반응시간이 연장되었음을 밝혔다.<sup>[9]</sup> 또한 2개의 서로 다른

측정 결과 값을 상호 비교하여 상관관계 분석의 가능성을 시사하기도 했다.<sup>[9,14]</sup>

중심외주시 훈련 후 시기능의 개선이 되었다면 신경의 어느 영역에서 재조직화가 발생했는지 알아보기 위하여 중심외주시 훈련 전후 광지각도와 다국소망막전위도의 변화를 비교했다. 광지각도 측정은 눈에 입사된 시 자극이 대뇌에서 분석된 이후 대상자가 어떻게 반응하는지 측정하는 자각적 검사방식을 사용한다. 따라서 자극에 대한 입력 후 출력에 대해 알 수 있다. 이에 반해, 다국소망막전위도측정은 눈에 입사한 시 자극을 광수용세포와 양극세포가 반응하는 진폭과 시간을 기록하는 타각적 검사방식을 사용한다. 결국, 광지각도 검사는 시각신경계(말초신경계와 중추신경계) 전체의 통합반응을 나타내주며 다국소망막전위도는 말초신경계에서의 반응만을 나타낸다고 볼 수 있다.

한편, 광지각도와 다국소망막전위도는 성별 간 비교에서도 차이를 나타냈으며 남성에 비해 여성이 전반적으로 높게 나타났다. 특히 다국소망막전위도 검사에서 남성으로 구성된 집단에서는 여성에 비해 통계적인 차이를 보였다. 짧은 꼬리 원숭이와 게막이 원숭이(cynomolgus macaque)를 대상으로 성별 간 비교를 한 선행연구<sup>[15]</sup>에 의하면 종(species)이나 성(gender)은 망막전위도에 영향을 줄 수 있다고 했다. 사람을 대상으로 적색을 담당하는 추체(L-cone)와 녹색을 담당하는 추체(M-cone)의 다국소망막전위도를 측정된 연구<sup>[16]</sup>에서는 성호르몬이 이온채널의 기능에 영향을 준다고 했다.

Fig. 7은 중심외주시 훈련 전후 광지각도와 다국소망막전위도의 측정값을 분산형으로 나타내었다. X축에 광지각도를 Y축에 다국소망막전위도를 나타내었으며 중심외주

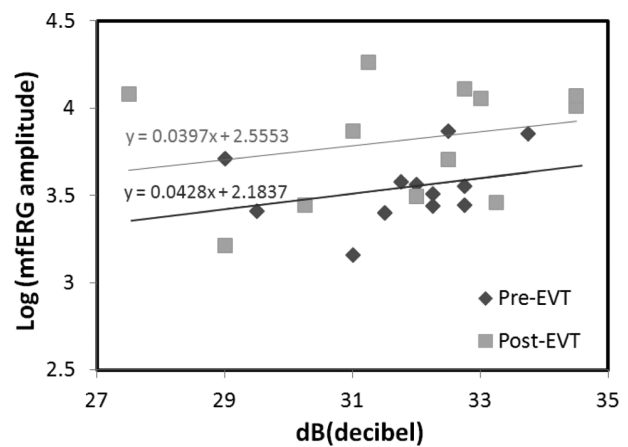


Fig. 7. Relationship between the decibel for perimeter and the log (amplitude) of mfERG. The slope of trend lines was similar, but Y-intercepts of two different trend lines were different.

시 훈련 전과 후의 추세선의 기울기를 토대로 두 검사 간 상관관계를 분석했다. 또한 두 추세선의 Y절편 값이나 기울기가 서로 다르다면 중심외주시 훈련 후 신경의 재조직화가 발생했음을 암시한다. 가령, 중심외주시 훈련 후 신경의 재조직화가 중추신경계와 말초신경계 모두에서 발생했다면 훈련 후의 추세선의 기울기가 전에 비해 작아질 것이다. 그러나 말초신경계에서 신경의 재조직화가 발생했다면 훈련 후의 추세선의 기울기는 훈련 전의 기울기보다 커질 것이다. 마찬가지로, 훈련 후 1차 함수 추세선의 Y절편 값이 훈련 전에 비해 높아졌다면 눈의 말초신경계인 광수용기와 양극세포에서 이미 신경의 재조직화가 일어났다고 간주할 수 있다.

본 연구에서 정상인을 대상으로 한 광지각도와 mERG는 선행연구<sup>9,14,17-19</sup>와 마찬가지로 중심외주시 훈련 전 ( $r>0.29$ )과 후( $r>0.25$ ) 각각 좋은 상관관계를 보였다(Fig. 7). 반면 Greenstein et al은 다국소망막전위도와 광지각도는 시자극이 다르기 때문에 상관관계가 없다고 보고했다.<sup>20</sup> 일반적으로 다국소망막전위도는 육각형 영역이 발생시키는 자극을 받는 특정 영역의 전기적 반응의 총합을 측정하는 반면, 본 연구에서는 망막의 특정 부위만으로 한정했기 때문에 Greenstein et al.과는 다르게 두 검사 간 상관관계를 보였다고 생각된다. 또한 중심외주시 훈련 전에 비해 중심외주시 훈련 후 1차 함수 추세선의 Y절편 값이 증가한 것은 중심외주시 훈련 후 망막의 외망상층에서 이미 신경의 재조직화가 발생했음을 암시한다. 또한 중심외주시 훈련 전 추세선의 기울기에 비해 중심외주시 훈련 후 추세선의 기울기에서 변화가 없었던 것은 중추신경계에서 아직 신경의 재조직화가 발생하지 않았기 때문이라고 판단된다. 이것은 아마도 첫째, 중심외주시 훈련기간을 21일로 단기 한정했기 때문에 중추신경계에서까지 신경의 재조직화가 일어나기에는 시간이 부족했으리라 판단되며 둘째, 중추신경계에서 뉴런의 활발한 재조직화가 일어나는 시기는 유아기지만 대상자의 나이는 모두 20대 이상인 성인이기 때문에 과정이 더디었을 것이다. 또한 연구에서는 중심시가 정상인 참가자를 대상으로 삼았기 때문에 실제 황반장애를 가진 대상으로 한 연구와는 편차가 발생할 수 있다고 생각한다.

인지학습(perceptual learning)을 연구한 Fahle<sup>21</sup>에 의하면 학습은 말초신경계의 변화를 일으킨다고 한 반면, Xiao et al.<sup>22</sup>에 의하면 중추신경계의 변화가 있었다고 했다. 인지학습에 의한 신경계의 변화에 대해서는 아직 확실히 밝혀지지 않았으며<sup>23</sup> 여전히 많은 연구자들의 몫으로 남겨져 있다. 중심외주시 훈련기간을 늘리고 시각 중추신경계의 활성화를 파악할 수 있는 기능성자기공명영상을 활용할 수 있다면 중심외주시 훈련 후 중추

신경계에서의 변화를 알아볼 수 있을 거라고 생각한다. 또한, 대상자의 연령 분포대를 넓혀 다양한 연령대를 대상으로 중심외주시 훈련을 한다면 시각 신경의 재조직화에 대한 또 하나의 신비를 밝혀낼 수 있을 것이라고 생각한다.

## REFERENCES

- [1] Katz LC, Crowley JC. Development of cortical circuits: lessons from ocular dominance columns. *Nature Rev Neurosci.* 2002;3(1):34-42.
- [2] Tzschentke B, Plagemann A. Imprinting and critical periods in early development. *World's Poultry Sci J.* 2006;62(4):626-637.
- [3] Nelson C. Neural plasticity and human development. *Current Directions in Psy Sci.* 1999;8(2):42-45.
- [4] Bear MF. Bidirectional synaptic plasticity: from theory to reality. *Philosophical transactions of the royal society of London. Series B: Biological Sciences London.* 2003;358:649-655.
- [5] Shutter EE, Barse MA. The optic nerve head component of the human ERG. *Vis Res.* 1999;39(3):419-436.
- [6] Duncan RO, Boynton GM. Cortical magnification within human primary visual cortex correlates with acuity thresholds. *Neuron.* 2003;38(4):659-671.
- [7] Fahle M, Schmid M. Naso-temporal asymmetry of visual perception and of the visual cortex. *Vis Res.* 1988;28(2):293-300.
- [8] Hood DC, et al. International society for clinical electrophysiology of vision. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2001 edition). *Doc Ophthalmol.* 2012;124:1-13.
- [9] Kim JK, Jang JH, Cho YW. Correlation between the visual field test and multifocal electroretinogram in patients with diabetic retinopathy. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2014;55(2):202-208.
- [10] Engel SA et al. fMRI of human visual cortex. *Nature.* 1994;369(6481):525.
- [11] Schumacher EH, Jacho JA, Primo SA, Main KI, 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.
- [12] 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.
- [13] Schreckenbach U. Untersuchung zum Erfolg einer adaptierten Variante des exzentrischen Sehtrainings nach Nilsson bei Sehbehinderungen mit Zentralskotom. Diplomarbeit (Master Thesis). Ernst-Abbe-Hochschule Jena. Germany. 2006;25-78.

- [14] Wen Y, Klein M, Hood DC, Birch D. Relationship among multifocal electroretinogram amplitude, visual field sensitivity, and SD-OCT receptor layer thickness in patients with retinitis pigmentosa. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53(2):833-840.
- [15] Charlene B et al. Interspecies and gender differences in multifocal electroretinograms of cynomolgus and rhesus macaques. *Doc Ophthalmol.* 2004;109:73-86.
- [16] Jaegle H, Heine J, Kurtenbach A. L: M-cone ratio estimates of the outer and inner retina and its impact on sex differences in erg amplitudes. *Doc Ophthalmol.* 2006;113:105-113.
- [17] Hood DC, Zang X. Multifocal ERG and VEP responses and visual fields: comparing disease-related changes. *Doc Ophthalmol.* 2000;100:115-137.
- [18] Hood DC. Assessing retinal function with the multifocal technique. *Prog Retin Eye Res.* 2000;19(5):607-646.
- [19] Holopigian K, Seiple W, Greenstein VC, Hood DC, Carr RE. Local cone and rod system function in patients with retinitis pigmentosa. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001;42(3):779-788.
- [20] Greenstein VC, Holopigian K, Hood DC, et al. The nature and extent of retinal dysfunction associated with diabetic macular edema. *Invest Ophthalmol Vis Sic.* 2000;41(11):3643-3654.
- [21] Fahle M. Learning to tell apples from oranges. *Trends Cog Sci.* 2005;9(10):455-457.
- [22] Xiao et al. Complete transfer of perceptual learning across retinal locations enabled by double training. *Current Bio.* 2008;18(24):1922-1926.
- [23] Levi DM, Li RW. Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: A mini-review. *Vis Res.* 2009;49(21):2535-2549.

## Neural Reorganization in Retinal Outer Plexiform Layer Induced by Eccentric Viewing Training

Jae-Myoung Seo\*

Dept. of Optometry, Gwangyang Health College, Gwangyang 545-703, Korea  
(Received May 10, 2014; Revised June 2, 2014; Accepted June 18, 2014)

**Purpose:** This study was to investigate the properties and the location of neural reorganization following eccentric viewing training. **Methods:** 14 subjects with normal vision took part in eccentric viewing training. The measurements of the light sensitivity and multifocal electroretinogram were performed before and after the training. **Results:** The measurements of the light sensitivity and multifocal electroretinogram for pre-eccentric viewing training and post-eccentric viewing training showed the significant difference ( $p < 0.047$  and  $p < 0.028$ , respectively). **Conclusions:** The retinal outer plexiform layer is unable to regenerate. However, the neural reorganization in the retinal outer plexiform layer is able to take place following eccentric viewing training.

**Key words:** Eccentric viewing training, Light sensitivity, Multifocal electroretinogram, Neural reorganization