

정상 소아의 시각유발전위 참고치

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 근육병 재활연구소

김형균 · 박윤길 · 문재호 · 최원아 · 최정화

– Abstract –

Reference Value of Pediatric Visual Evoked Potential

Hyung-kyun Kim, M.D., Yoon-ghil Park, M.D.PhD., Jae Ho Moon, M.D.,
Won ah Choi, M.D. Jung hwa Choi, M.D.

*Department of Rehabilitation Medicine and Rehabilitation Institute of Muscular Disease,
Yonsei University College of Medicine*

Objectives: To establish the reference range of latency values in pediatric patients according to their age.

Methods: Visual evoked potential was performed on children between age 0 and 10, diagnosed with unilateral amblyopia at GangNam Severance Hospital between January 2005 and December 2008. Latency values for N1, P1, N2, P2, N3 were measured for the intact and the amblyopian eye.

Results: For the intact eye the mean values of latency of were N1=31.6 ms, P1=50.8 ms, N2=80.0 ms, P2=113.3 ms, N3=160.3 ms and for the amblyopian eye they were N1=35.4 ms, P1=56.1 ms, N2=81.1 ms, P2=113.8 ms, N3=160.8 ms. There were no significant differences between the intact eye and the amblyopian eye. Compared to the normal values in adults, the mean values of latency was shorter for N1 and P1, and longer for N2, P2, and N3. These differences were statistically significant.

Conclusion: This study showed that reference values of latency in visual evoked potential were different in children compared to the values in adults.

Key Words: Visual evoked potential, Children, Reference value, Amblyopia

서 론

시각유발전위 검사(Visual Evoked Potential : VEP)는 시신경로와 시각피질의 기능을 평가하는 데 유용한 비 침습적인 방법으로 안과적 질환, 시신경 질환 및 중추 신경계의 병변 시 변화를 관찰할 수 있다. 이 검사는 시각적 자극에 의해 시각피질 내의 세포에서 유발되는 전기적인 반응을 보는 검사로서 1941년 Monnier가 단순한 섬광자극에 의해 뇌의 후두엽에서 발생한 전위를 기록하면서 시작되었고 당시는 섬광

(flash)자극이 자극 방법 중 가장 대표적인 방법으로 생각되었다.¹ 하지만, 이후의 Cobb와 Morton 및 Ettlenger는 패턴변환(pattern reversal) 자극 방법을 생각하게 되었고 이 자극 방법이 섬광자극 방법보다 일정하게 유발되어 시각 경로의 이상을 발견하는데 더욱 유용하다는 것이 밝혀졌다.² 그러나 혼수상태나 전신마취상태, 어린이가 또는 시력이 나빠서 패턴변환을 구별할 수 없는 경우에는 섬광자극에 의한 시각유발전위 검사가 사용될 수밖에 없다.

출생 이후 수년간 망막, 시신경로 및 시각피질은 빠

Address reprint requests to **Yoon ghil Park, M.D., Ph.D.**

Department of Rehabilitation Medicine & Rehabilitation Institute of Muscular Disease, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, #146-92 Dogok-dong, Gangnam-gu, Seoul, 135-270, Korea

TEL : 82-2-2019-3493, FAX : 82-2-3463-7585, E-mail : drtlc@yuhs.ac

투고일: 2009년 4월 20일, 게재확정일: 2009년 5월 22일

르게 성숙하게 된다.^{3,4} 영유아 및 학령전기 소아에서는 나이에 따라서 시각유발전위의 파형과 잠시 값이 변화한다고 알려졌다. 소아에서 시행한 섬광자극 시각유발전위 검사에서 개인 간의 차이가 매우 크고 복잡한 모양의 파형이 나타나며 나이가 들어감에 따라 잠시 값이 감소하는 것이 밝혀졌다.^{5,8} 이와 같은 시각유발전위 검사 값의 성숙은 영유아에서 매우 빨리 나타나며, 학령전기에도 점진적으로 나타나 성인에서까지 지속적으로 나타난다.^{9,11} 하지만 현재까지 시각계가 전기 생리학적으로 정확히 언제 성숙되는지는 알려지지 않았다.

이처럼 신경계의 성숙도에 따라 시각유발전위 검사 값은 다양하게 나타날 수 있기 때문에 현재 사용 중인 성인의 시각유발전위 검사 참고치를 소아의 검사에 적용하는 것은 무리가 있다. 임 등¹²은 미숙아에서의 섬광자극 시각유발전위 검사를 시행하여 N300의 값이 가장 두드러지게 나타나며 재현성이 높은 잠시 값이라고 하였으며, 이 등¹³은 59개월 미만의 뇌성마비 환아에 대한 시각유발전위 검사를 시행하여 잠시 값의 분포를 보고 하였다. 또한 김 등¹⁴은 영아에서 발달에 따른 시각유발전위 값의 변화 양상에 대해 보고하였으며, Kraemr 등¹⁵은 신생아에서 출생 후 수개월간의 시각유발전위 값의 변화를 보고하였다. 이처럼 신생아나 비정상 소아에 대한 시각유발전위에 대한 연구는 활발히 이루어져 있지만, 국내는 물론 국외에서도 소아의 연령별 시각유발전위 검사의 참고치에 대한 자료가 부족한 상태이다.

그래서, 본 연구의 목적은 소아의 연령에 따른 시각유발전위 검사 값의 참고치를 확보하여 소아의 안과 질환이나 신경학적 이상의 진단 시 도움이 될 수 있도록 하는 것이다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

2005년 1월부터 2008년 12월까지 강남세브란스병원 안과에 약시를 주소로 내원하여 시각유발전위 검사를

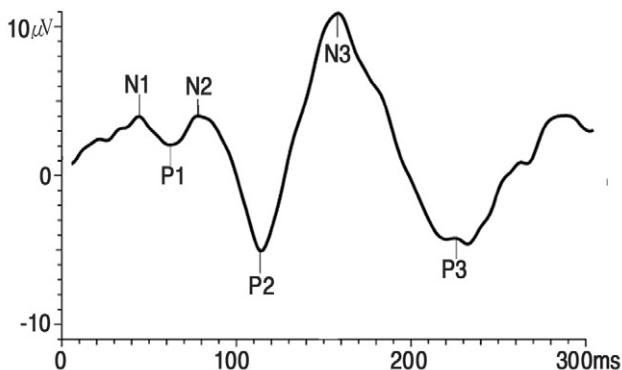


Fig. 1. A typical wave form of flash visual evoked potential.

시행한 환아 중 한쪽 눈에만 약시 진단을 받은 3개월에서 85개월 사이의 소아 26명을 대상으로 하였다. 26명의 소아 중 남자는 11명, 여자는 15명이었었다. 검사 당시 평균 나이는 45.65개월이었으며, 평균 체중은 18.72 kg이었다. 대조군은 강남세브란스병원에서 근무하는 20세 이상의 신경학적, 시각적 문제가 없는 건강한 남자 11명, 여자 9명을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

시각유발전위 검사는 Synergy® (Oxford Medelec, Wiesbaden, Germany) 근전도 기기를 사용하였고, 주파수 대역은 0.5~100 Hz로 설정하였다. 소아는 안정을 취하고자 진정제(Midazolam)를 투여하여 수면 상태에서 검사하였고, 대조군은 눈을 감은 채 다른 자극을 최소화하여 안정된 상태에서 섬광 안경을 사용하여 1 Hz의 빈도로 한쪽 눈씩 양측을 자극하였다. International 10~20 system에 따라서 활동 전극은 Oz에, 대 전극은 Fz에, 접지 전극은 턱에 염화은으로 만든 지름 6 mm의 표면 전극을 부착하였다. 두피를 Omni Prep으로 닦아 저항을 5 kOhm 이하로 하였다. 전위의 기록은 민감도 5 uV, 범위는 100 msec로 하여 총 100회를 자극하여 두 번 반복 시행하였다.

유발 전위는 파형에 따라 분석하였는데 Duchowny 등¹⁷의 분류를 참조하여 재현성이 좋으면서 파형이 뚜렷한 경우를 정상 파형, 재현성이 낮고 적은 진폭을 보인 경우를 비정상 파형으로, 그리고 반응을 보이지 않는 편평 파형으로 분류하고 이후 N1, P1, N2, P2, N3의 잠시를 측정하였다(Fig. 1).

3. 통계 분석

통계학적 처리는 SPSS 14.0 program을 이용하여 시각유발전위 잠시의 평균을 구하였고 대조군과 실험군의 정상 눈에서 측정된 시각유발전위 값의 비교, 실험군을 1세 미만과 1세 이상으로 나누어 시행한 시각유발전위 값의 비교는 independent t-test로 시행하였고, 실험군의 정상 눈과 약시 눈에서 측정된 시각유발전위 값의 비교는 paired t-test를 시행하였다. 연령과 시각유발전위 값의 연관성은 Pearson correlation를 사용하였다.

결 과

평가를 시행한 실험군 26명과 대조군 20명 모두 적절한 시각유발전위 검사의 잠복 시간을 측정할 수 있었으며 실험군의 평균 연령은 45.65개월이었고 남아가 11명, 여아가 15명이었으며, 1세 미만은 10명, 1세 이상

은 16명이었다. 대조군은 성인으로, 남자가 9명, 여자가 11명이었다(Table 1).

실험군과 대조군에서 측정한 시각유발전위 파형은 모두 Duchowny 등¹⁶의 분류에서 정상 파형을 나타내었다. 실험군의 N1의 평균 잠시값은 정상 눈에서 측정한 값은 31.6 ms였으며, 약시 눈에서 측정한 값은 35.4 ms였다. 이 값은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 정상 눈에서 측정한 N1의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 42.6 ms이고, 1세 이상에서는 24.8 ms으로, 두 평균 잠시값은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 약시 눈에서 측정한 N1의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 41.6 ms이고, 1세 이상에서는 31.6 ms으로, 두 평균 잠시값은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 한편, 대조군의 한 측 눈에서 측정한 N1의 평균 잠시값은 44.2 ms이었으며, 이 값은 실험군의 정상 눈에서 측정한 N1의 평균 잠시값과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 실험군 P1의 평균 잠시값은 정상 눈에서는 50.8 ms, 약시 눈에서는 56.1 ms이었고, 이 값은 N1에서와 마찬가지로 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 정상 눈에서 측정한 P1의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 61.3 ms이고, 1세 이상에서는 44.3 ms이었다. N1의 평균 잠시값에서와 마찬가지로 두 평균 잠시값은 통계적인 유의한 차이를 보였다. 약시 눈에서 측정한 P1의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 60.9 ms이고, 1세 이상에서는 53.1 ms으로, 두 평균 잠시값은 N1에서와 마찬가지로 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 대조군의 한 측 눈에서 측정한 P1의 평균 잠시값은 62.3 ms로, 실험군의 정상 눈에서 측정한 P1의 평균 잠시값과 통계적으로 유의한 차이

를 나타내었다. 실험군에서 측정한 N2의 평균 잠시값은 정상 눈에서는 80.0 ms, 약시 눈에서는 81.1 ms이었고, 통계적 유의성은 없었다. 정상 눈에서 측정한 N2의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 83.1 ms이고, 1세 이상에서는 78.1 ms이었다. 두 평균 잠시값은 N1, P1과는 달리 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 약시 눈에서 측정한 N2의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 86.7 ms이고, 1세 이상에서는 77.7 ms으로, 두 평균 잠시값은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 대조군에서의 N2의 평균 잠시값은 72.0 ms로 실험군의 정상 눈에서 측정한 평균 잠시값과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. P2의 평균 잠시값 중 정상 눈에서 측정한 값은 113.3 ms, 약시 눈에서 측정한 값은 113.8 ms이었고, 통계적 유의한 차이는 없었다. 정상 눈에서 측정한 P2의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 114.1 ms이고, 1세 이상에서는 112.9 ms으로, 두 잠시값은 통계적인 유의한 차이를 나타내지 않았다. 약시 눈에서 측정한 P2의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 117.4 ms이고, 1세 이상에서는 111.5 ms으로, 두 평균 잠시값은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 대조군에서 측정한 P2의 평균 잠시값은 101.0 ms으로, 실험군의 정상 눈에서 측정한 P2의 평균 잠시값과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. N3의 평균 잠시값은 정상 눈에서는 160.3 ms, 약시 눈에서는 160.8 ms으로 측정되었으며, 이 값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 정상 눈에서 측정한 N3의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 152.0 ms, 1세 이상에서는 165.5 ms으로 측정되었으며, 두 평균 잠시값은 통계적인 유의한 차이를 나타내지 않았다. 약시 눈에서 측정

Table 1. General Characteristics of Subjects

	Children with unilateral amblyopia	Adult with normal vision
No. of subjects	26	20
Mean age	45.6±34.1 months	29.0±4.2 years

Table 2. Comparisons of VEP Latency Value between Unilateral Amblyopia Children and Normal Adults

			N1	P1	N2	P2	N3
Unilateral amblyopia children	Normal side	<1 year	42.6±16.3 [†]	61.3±12.9 [†]	83.1±13.1	114.1±20.5	152.0±21.9
		≥1 year	24.8±17.5	44.3±16.4	78.1±8.3	112.9±11.2	165.5±38.1
		Total	31.6±18.9*	50.8±17.1*	80.0±10.4*	113.3±15.1*	160.3±33.0*
	Amblyopia side	<1 year	41.6±17.2	60.9±18.1	86.7±15.5	117.4±22.7	151.0±34.4
		≥1 year	31.6±13.6	53.1±9.5	77.7±9.3	111.5±11.0	166.9±30.6
		Total	35.4±15.5	56.1±13.7	81.1±12.6	113.8±16.4	160.8±32.4
Adult		44.2±5.3	62.3±6.0	72.0±9.5	101.0±14.7	135.2±28.1	

*P<0.05 Normal children vs Adults, [†]P<0.05 <1 year vs ≥1 year

Table 3. Pearson Correlation of Latency Values in Pediatric Patients According to Their Age

	Pearson correlation	Significance
N1	-0.472	0.015
P1	-0.445	0.023
N2	-0.166	0.419
P2	0.067	0.743
N3	0.278	0.168

한 N3의 평균 잠시값 중 1세 미만에서는 151.0 ms이고, 1세 이상에서는 166.9 ms으로, 두 평균 잠시값은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 대조군의 N3의 평균 잠시값은 135.2 ms로 실험군의 정상 눈에서 측정된 평균 잠시값과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Table 2).

한편, 나이에 따른 시각유발전위 검사 값을 비교해 보았을 때 N1, P1, N2에서는 나이가 들어감에 따라 시각유발전위 잠시값이 감소하는 음의 상관관계를, P2, N3에서는 나이가 들어감에 따라 시각유발전위 잠시값이 증가하는 양의 상관관계를 나타냈다. 이 값 중 N1, P1에서만 통계적으로 유의한 결과가 나왔다(Table 3).

고 찰

시각유발전위 검사는 계속적인 시 자극을 망막에 주어 후뇌 피질의 브로드만 영역 17, 18, 19에서 발생한 전기적 반응을 두피에 부착시킨 전극을 통해 감지해서 증폭시킨 후 다시 컴퓨터에서 평균하여 시각화한 것으로 미숙아에서 뇌의 성숙도를 알아내고,¹⁷ 유·소아에서 시력 측정,¹⁸ 약시의 진단,¹⁹ 중심 시력의 장애가 있는 유아의 시력 예후 결정²⁰ 등 다양한 시각, 뇌 기능을 평가하는 도구로서 사용되고 있다.

시각유발전위 검사에 있어, 시 자극은 섬광자극형과 패턴 변화형의 두 가지가 있다. 일반적으로 섬광자극형의 시각유발전위 검사는 어린이나 협조가 잘되지 않는 경우, 백내장, 각막혼탁, 초자체 출혈 등의 안 내 혼탁이 있는 경우 등에서 시행하게 된다.²¹ 섬광자극형 시각유발전위를 시행하면 일련의 음성과 양성파의 파형을 관찰할 수 있는데, 그 중 90 ms에서 관찰할 수 있는 N2 잠시와 120 ms에서 관찰할 수 있는 P2 잠시가 가장 뚜렷하게 나타나 임상적 해석에서 가장 진단적 가치가 있는 것으로 알려졌다.²²

시각유발전위 검사 값은 다양한 인자에 의해서 그 진폭과 잠시값이 변화할 수 있다. 시신경 염증, 다발성 경화증, 근긴장성 디스트로피와 같은 질병이 있는 경우 뿐 아니라 자극의 빈도, 자극의 광도, 피검자의 주의 집중력, 의식의 정도, 동공의 크기, 자극의 색상, 시신

경로의 발달 정도에 따라서도 진폭과 잠시값이 달라질 수 있다. 이러한 변수 중 특히 연령에 따른 시신경로의 발달과 퇴보에 의해서도 시각유발전위 검사 값의 정상치가 달라질 수 있다는 다양한 연구 결과가 보고되어 있다. Taylor 등²³은 75명의 신경학적 이상이 없는 미숙아를 대상으로 생후 3일 내에 시각유발전위를 검사하여, 24주 이후에서 300 msec 주위에서 볼 수 있는 N300 전위를, 27주 이후에는 P400 전위를 보이나 다양한 진폭과 형태를 보이며, 30주와 35주 사이에서는 작은 P200 전위를 보이고, 이 전위는 36주 이후에도 계속 관찰되는 것으로 보고하였다. 김 등¹⁴의 연구에서는 131명의 신생아를 대상으로 N300 형태는 평균 월경 후 주령 38.3주, P200~N300 형태는 평균 월경 후 주령 39.4주, P100~N155~P200~N300 형태는 평균 월경 후 주령 41주, 그리고 P100 형태는 평균 월경 후 주령 43주에 관찰되는 것으로 보고하였다. 성인에서의 연령과 시각유발전위와의 관계를 확실하게 지지해주는 자료는 아직 없으나 1975년도와 1977년도에 Asselmann²⁴과 Hennerici 등²⁵은 60~65세 이후에야 비로소 잠시가 증가한다고 보고하였고, 반면에 1977년도 Clesia 등²⁶은 20세부터 나이에 따라 잠시의 증가가 뚜렷이 나타난다고 보고하였다.

본 연구에서는 성인의 정상 잠시값과 소아의 정상 잠시값을 비교하였을 때, 모든 측정값에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것을 알 수 있었다. N1과 P1 값의 경우 성인에서보다 빠른 잠시값이 측정되었으며 N2, P2 그리고 N3에서는 성인에서보다 느린 잠시값이 측정되었다. 한편, 소아 내에서 나이에 따른 시각유발전위 값을 비교하였을 때 N1, P1, N2에서는 나이가 들어감에 따라 시각유발전위 잠시값이 감소하는 음의 상관관계를, P2, N3에서는 나이가 들어감에 따라 시각유발전위 잠시값이 증가하는 양의 상관관계를 나타냈지만, 이 중에서 N1, P1에서만 통계적으로 유의한 결과를 보였다. Kraemer 등¹⁵은 출생 2주 이후 경에 N1이 나타나며 5주가 지난 이후 100 ms 이하로 잠시값이 줄어든다고 하였으며, 약 3달간은 지속적으로 N1과 P1의 잠시값이 줄어들게 되고, 이후에는 평탄 역을 이루게 된다고 하였다. 또한 Ellingson²⁷은 영아에서 뇌피질의 성숙에 따라 P1의 잠시 값이 점차 짧아진다는 보고를 하였다. 이는 본 연구에서도 N1, P1 값이 나이가 들어감에 따라 감소하며 1세 미만과 1세 이상과의 비교에서 통계적으로 유의하게 1세 이상의 N1, P1 값이 감소된 것과 동일한 결과를 보였다. 한편, 본 연구에서는 성인에서의 N1, P1 잠시값이 더 느려진 결과를 얻었는데, 이는 아직 성인에서의 잠시의 증가 양상이 정확히 밝혀지지 않았기 때문에 Clesia 등²⁶이 주장한 것과 같이 20세 이후에 잠시 값이 뚜렷이 증가하면 나타날 수 있는 현상이라고 생각된다. 진단적으로 가장 많이 이용

되는 N2, P2의 잠시값은 성인의 정상치와 비교하였을 때는 느려진 잠시값을 보였는데, 이는 앞에서 말한 것과 같이 성인에서 잠시값의 증가 양상이 뚜렷이 밝혀지지 않았기 때문에 Asselmann²⁴과 Hennerici 등²⁵의 주장에 따라 60세가 지난 이후 잠시값의 지연이 나타날 때 보일 수 있는 소견이다. 나이에 따른 비교에서, N2 잠시값은 나이가 들어감에 따라 잠시값이 감소하는 음의 상관관계를, P2 잠시값은 나이가 들어감에 따라 잠시값이 증가하는 양의 상관관계를 나타내었지만, 이는 통계적인 유의성이 없어 의미 있는 소견으로 보기는 어려움이 있다.

한편, 본 연구에서 약시로 진단받은 눈과 정상 눈에서 각각 시행한 시각유발전위 잠시값의 비교에서는 두 값의 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 김 등²⁶의 연구에 따르면 눈 자체의 결함 없이 시력저하가 나타나 약시로 진단받은 환자와 정상 대조군과의 시각유발전위 검사 값의 비교에서 약시 환자에서 잠시값이 통계적으로 유의하게 지연되어 있다고 보고하였다. 본 연구에서의 결과는 김 등²⁶의 연구와 달리 정상 대조군과 약시 눈과의 비교가 아닌 약시가 있는 환자에서 정상 눈과 약시로 진단 받은 눈의 시각유발전위 잠시값의 비교이기 때문에 이전의 연구와는 다른 의의가 있을 것이라 생각한다.

결 론

강남세브란스병원 재활의학과에서는 2005년 1월부터 2008년 12월까지 한쪽 눈에서만 약시로 진단받은 3개월에서 85개월 사이의 소아 26명과 대조군 20명을 대상으로 시각유발전위 검사를 시행하여 다음의 결과를 도출하였다.

소아의 정상 눈과 대조군과의 비교에서 N1과 P1 값의 경우 성인에서보다 빠른 잠시값이, N2, P2 그리고 N3에서는 성인에서보다 느린 잠시값이 측정되었으며, 이 값들을 비교하였을 때 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 한편, 소아에서 나이에 따른 잠시값의 변화를 살펴보았을 때 N1, P1 값에서 통계적으로 유의하게 나이가 들어감에 따라 잠시값이 감소하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 얻어진 정상 소아의 시각유발전위 검사 참고치를 통하여 소아의 안과 질환이나 신경학적 이상의 진단시 도움이 될 것으로 판단된다. 한편, 본 연구에서의 실험군의 대상 환자가 많지 않아, 더 많은 소아를 대상으로 시행한 연구가 필요하겠으며, 소아의 세분화된 연령별 시각유발전위 검사의 참고치에 대한 연구도 더욱 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Monnier M: Retinal, cortical and motor responses to photic stimulation in man. *J Neurophysiol* 1952; 15: 469.
2. Cobb WA, Morton MB, Ettlenger G: Cerebral potentials evoked by pattern reversal and their suppression in visual rivalry. *Nature* 1967; 216: 1123-1125.
3. Garey LJ, de Courten C: Structural development of the lateral geniculate nucleus and visual cortex in monkey and man. *Behav Brain Res* 1983; 10: 3-13.
4. Barnet AB, Friedman SL, Weiss IP, Ohlrich ES, Shanks B, Lodge A: VEP development in infancy and early childhood. A longitudinal study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1980; 49: 476-489.
5. Benavente I, Tamargo P, Tajada N, Yuste V, Oliván MJ: Flash visually evoked potentials in the newborn and their maturation during the first six months of life. *Doc Ophthalmol* 2005; 110: 255-263.
6. Breclj J, Štruel M, Zidar I, Tekavčič-Pompe M: Pattern ERG and VEP maturation in schoolchildren. *Clin Neurophysiol* 2002; 113: 1764-1770.
7. Breclj J: From immature to mature pattern ERG and VEP. *Doc Ophthalmol* 2003; 107: 215-224.
8. Pompe MT, Kranjc BS, Breclj J: Visual evoked potentials to red-green stimulation in schoolchildren. *Vis Neurosci* 2006; 23: 447-451.
9. Kjellmer I, Thordstein M, Wennergren M.: Cerebral function in the growth-retarded fetus and neonate. *Biol Neonate* 1992; 62: 265-270.
10. Chin K, Taylor M, Menzies R, Whyte H: Development of visual evoked potentials in neonates. A study using light emitting diode goggles. *Arch Dis Child* 1985; 60: 1166-1168.
11. Foster RE, Connors BW, Waxman S: Rat optic nerve: electrophysiological, pharmacological and anatomical studies during development. *Brain Res* 1982; 3: 371-386.
12. 임성일, 임진영, 길은영, 서혜정, 오연균: 미숙아의 시각유발전위 검사. *대한재활의학회지* 2000; 24: 1079-1085.
13. 이상헌, 김세주: 뇌성마비 환자의 시각 유발전위의 평가. *대한재활의학회지* 1994; 18: 710-715.
14. 김세주, 송은범, 이명훈, 박윤형, 이병우, 김동휘 등: 영아의 시각유발전위. *대한재활의학회지* 1998; 22: 434-438.
15. Kraemr M, Abrahamsson M: The neonatal development of the light flash visual evoked potential. *Doc Ophthalmol* 1999; 99: 21-39.
16. Duchowny MS, Weiss IP, Majlessi H, Barnet AB: Visual

- evoked responses in childhood cortical blindness after head trauma and meningitis. A longitudinal study of six cases. *Neurology* 1974; 24: 933-940.
17. Herbek A, Karlberg P, Olsson T: Development of visual and somatosensory evoked responses in pre-term newborn infants. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1973; 34: 225-232.
 18. Marg E, Freeman DN, Peltzman P, Goldstein PJ: Visual acuity development in human infants. *Invest Ophthalmol* 1976; 15: 150-153.
 19. Granet DB, Hertle RW, Quinn GE, Breton ME: The visual evoked response in infants with central visual impairment. *Am J Ophthalmol* 1993; 116: 437-443.
 20. Yitzchak F, Diane K, Judith K: Flash and pattern reversal evoked potential abnormalities in infants and children with cerebral blindness. *Dev Med Child Neurol* 1992; 34: 305-315.
 21. Wilson WB: Visual-evoked response differentiation of ischemic optic neuritis from the optic neuritis of multiple sclerosis. *Am J Ophthalmol* 1978; 86: 530-535.
 22. Odoml JV, Bach M, Barber C, Brigell M, Marmor MF, Tormene AP, et al: Visual evoked potentials standard(2004). *Doc Ophthalmol* 2004; 108: 115-123.
 23. Taylor MJ, Menzies R, Macmillian LJ, Whyte HE: VEPs in normal full-term and premature neonates: longitudinal versus cross-sectional data. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1987; 68: 20-27.
 24. Asselmann P, Chadwick DW, Marsden CD: Visual evoked responses in the diagnosis and management of patients suspected of multiple sclerosis. *Brain* 1975; 98: 261-282.
 25. Hennerici M, Wenzel D, Freund HJ: The comparison of small-size rectangle and checkerboard stimulation for the evaluation of delayed visual evoked responses in patients suspected of multiple sclerosis: *Brain* 1977; 100: 119-136.
 26. Celesia GG, Daly RF: Effects of aging on visual evoked responses. *Arch Neurol* 1977; 34: 403-407
 27. Ellingson RJ: Cortical electrical responses to visual stimulation in the human infant. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1960; 12: 663-677.
 28. 김권영, 신수범, 송지원: 약시 환자와 정상 대조군에서 시각유발전위검사의 소견. *대한재활의학회지* 2005; 29: 58-62.