

감각신경계의 신경생리와 임상적 이용

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 뇌신경센터 신경과

서 대 원

Neurophysiology of the Sensory System and Clinical Applications

Dae-Won Seo, M.D., Ph.D.

*Department of Neurology, Samsung Medical Center, Samsung Brain and Nerve Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea*

Received 22 October 2010; accepted 31 October 2010.

Various electrophysiological tests have provided a large body of valuable information on neuronal responses to a presented stimulus. The special and general somatic sensory pathways are main targets of evoked potentials. Two types of evoked potentials, exogenous and endogenous, are commonly used. Exogenous evoked potentials of general and special somatic sensory systems will be reviewed. One of general somatic sensory functional pathways, proprioception, can be evaluated by general somatosensory evoked potentials with electrical stimulation on nerves. The special somatosensory functional pathways, including vision, and audition, can be evaluated by visual evoked potentials and auditory evoked potentials. Also laser-evoked potentials are newly developed for pain pathway, including lateral spinothalamic pathway, and vestibular myogenic evoked potentials for sacculocollic pathways. The evoked potentials of sensory system have maximal clinical utility in evaluating functional deficits along the sensory pathways. They are used for evaluating comatose patients, hysterical patients, premature infants, patients with suspected demyelinating diseases or neoplasms, and research. We discuss the neurophysiologic tests of sensory systems in views of practical points. The organized evaluation of sensory electrophysiologic tests can be helpful in detecting and estimating the abnormalities in neurological diseases.

Key Words: Evoked potentials, Visual evoked potentials, Brainstem auditory evoked potentials, Somatosensory evoked potentials, Vestibular myogenic evoked potentials

서 론

유발전위검사는 뇌 영상의 발전으로 임상에서 그 유용성이 감소되고 있다. 그러나 고유의 장점을 가지고 있으며,

이 장점은 진단적인 면보다는 신경 기능의 평가와 추적관찰 의미에서 더욱 확대될 수 있다. 최근 국내에서도 관심 받고 있는 수술 중 신경계 감시에 이용되고 있으며, 중환자실에서의 추적감시에도 이용될 수 있다. 수술장에서는 뇌, 척추, 혈관, 등의 다양한 부위 수술에서 신경계 추적감시와 기능 평가를 위해 사용되고 있으며, 중환자실의 의식장애 환자에 대한 반복적인 평가 또는 추적감시에 이용될 수 있다. 이러한 변화는 진단적 의미의 결과 단순 판독보다는 감각신경계를 통한 자극과 전위의 전파 경로, 감각신경계의 기능을 연결하여 이해하는 것이 더욱 필요하게 되었다.

Address for correspondence;

Dae-Won Seo, M.D., Ph.D.

Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 50 Irwon-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-710, Korea

Tel: +82-2-3410-3595 Fax: +82-2-3410-0052

E-mail: daewon@skku.edu

감각신경계는 생명체가 외부세계의 상황을 인지하고 적절하게 반응상태를 유지할 수 있도록 도와준다. 감각계의 기능적 단계 분류는 네 단계로 구분할 수 있다. 우선 특정 자극(stimulation)이 있고, 둘째, 자극에 대한 수용체(transduction)에 전도가 되며, 셋째, 수용된 자극 정보를 중추신경계까지 전달(transmission)해야 하며, 전달된 자극을 인지(perception)해야 한다. 이러한 과정을 통해 파악하는 기능적 조직을 감각계라고 할 수 있다.

감각계의 종류에 대해 과거부터 여러 분류가 있어 왔다. 그리스 철학적 분류에서는 감각을 시각(sight), 소리(hearing), 냄새(smell), 맛(taste), 촉감(touch)으로 구분하였다. 1990년대 Sherrington은 외재적 감각(exteroceptive sense), 위치감각(proprioceptive sense), 그리고 내재적 감각(interoceptive sense)으로 구분하였다. 비교적 현대에서는 시각(vision), 청각(hearing), 후각(olfaction), 미각(gustation), 압력(pressure), 열(hot), 냉(cold), 통증(nociception; pain), 관절 위치감(kinesthesia; joint position), 평형각(equilibrium; rotation/acceleration)으로 구분하고 있다.

기능적 감각계를 세분해 보면 다음과 같다. 특수한 수용체를 통해 아주 정교하게 감각을 인지하는 특수체성감각(special somatic sense)으로 시각, 청각, 평형각을 들 수 있다. 이보다 수용체 특이성은 약하지만 민감하게 감지한 자극을 증폭시켜 정서적 뇌와 연결하여 인지하는 후각과 미각이 있다. 팔, 다리, 몸통에서는 일반적으로 피부와 관절에 위치하는 압력, 냉온, 관절위치 수용체를 통해 정교하지는 않지만, 비교적 특이적으로 자극을 전달하게 되는 일반체성감각(general somatic sense)인 통증/온도, 압력/위치, 촉각이 있다. 마지막으로 내장에는 불특정한 자극에 반응하며 정서적 뇌와 관련이 많은 일반내장감각(general visceral sense)으로 자율신경감각(autonomic sense)이 있다.

일곱 가지 감각 중에서 특수체성 또는 일반체성 모두 어느

정도 특정자극에 특이적으로 반응하는 수용체를 가지고 있고, 뇌 안에서도 특정경로를 지나면서 대뇌 피질의 특정 부위에 정보를 전달한다. 이에 비해 특수내장 또는 일반내장감각은 매우 민감하게 반응할 수 있지만, 증폭과정과 비특이적 전달 경로 특히 대뇌의 정서적 뇌와의 연결을 이루고 있다. 따라서 체성감각을 통한 자극으로 뇌의 특정경로 이상을 확인할 수 있으며, 내장감각을 통한 자극으로 뇌의 인지 기능 동원에 대한 반응 정도를 평가할 수 있다. 즉 전자는 외재적 유발전위(exogenous evoked potentials)가 가능한 반면 후자는 내재적 유발전위(endogenous evoked potentials)가 가능하다. 외재적 유발전위는 체성자극에 따라 시각, 청각, 평형각 그리고 일반체성감각 유발전위가 있다. 이 때 특수체성감각은 특수감각으로 일반체성감각은 체성감각으로 사용하므로 일반체성감각 유발전위는 체성감각 유발전위로 사용된다(Table 1).

일곱 가지 감각은 살아가는 데 필수적인 정보 입력수단 이면서 삶의 질과 매우 밀접히 연관되어있다. 이러한 감각에 대해 말초수용체부분에서의 문제는 각각 특성과 전문진료과에서 진료가 이루어지고 있다. 그러나 전달과 인지과정에서는 모두 신경과 진료영역에 포함되어 신경과 의사로서는 이에 대해 이해하고 있는 것이 필요하다. 또한 대한임상신경생리학회에서는 임상신경술기지침서를 2009년 발간하여 감각을 평가할 수 있는 유발전위 검사방법의 지침을 제시하고 있다.¹

본 원고에서는 일곱 가지 감각계에서 체성감각에 대한 외재적 유발전위(exogenous evoked potentials), 즉 시각유발전위(visual evoked potentials, VEP), 청각유발전위(auditory evoked potentials, AEP), 평형각유발전위(vestibular myogenic evoked potentials, VEMP), 체성감각유발전위(somatosensory evoked potentials, SEP)와 임상적 응용에 대해서 설명하겠다.

Table 1. Sensory systems and evoked potentials

System	Nature	Modality	Stimuli	Receptor	Evoked potentials
Somatic	Special	Vision	Light	Cone, rod	VEP
		Audition	Sound	Hair cell in organ of Corti	AEP
		Balance	Acceleration	Hair cell in macula or crista	VEMP
	General	Nociception	Pain	Nerve ending	
		Proprioception	Motion	Golgi tendon organ	SEP
Visceral	Special	Olfaction	Chemical	Olfactory receptor	
		Taste	Chemical	Taste cell	
	General	Autonomic sense	Stretch, ischemia	Nerve ending	

VEP, visual evoked potentials; AEP, auditory evoked potentials; VEMP, vestibular evoked myogenic potential; SEP, somatosensory evoked potentials.

본 론

1. 파형 형성

1) 전위 발생위치와 기록위치에 따른 파형 형태

감각신경이 자극되면 흥분은 다양한 감각경로를 타고 대뇌로 전달된다. 이 과정에서 특정부위에 전위를 기록할 수 있다. 그러나 전위 형성은 신체 내의 신경경로에서 이루어지는 데 비해 기록은 신체 밖에서 기록하게 된다. 따라서 전위 형성 방향과 기록 방향의 상대적 차이로 다양한 파형이 형성될 수 있다. 예를 들면, 체성감각유발전위에서 말초신경 위에서 기록되는 전위는 통과(en passant) 전위 양상의 음극-양극-음극의 세 가지 위상을 보이는 파형을 형성한다. 청각유발전위에서 뇌간에서 형성되는 파형은 닫힌필드(closed field) 형태로 두피에서 양극 파형으로 보이게 된다. 체성감각전위에서 정중신경자극 후 피질하구조물에서 형성되는 P14 또는 후경골신경자극 후 같은 방식으로 형성되는 P31 등이 같이 닫힌필드로 볼 수 있다.

Polarity	○	-	+	- + -	+
Schema					
Field	Closed field	Open field	Positive approaching	Negative en passant	Short-circuit
Example	Subcortical nuclei	Postcentral gyrus	Visual cortex	Peripheral nerve, plexus	Fluid-filled space, metal

Figure 1. Five types of recorded waves at surface according to geometry of potentials.

모든 감각전위의 피질 파형은 말단에서 피질로 올라오는 (approaching) 전위로 두피에서 기록할 때는 양극 파형을 보인다. 예를 들면 발목 자극에 의한 피질파형은 P45, 청각 자극은 P50, 시각자극은 P100으로 기록된다. 예외적으로 정중신경자극에서는 중심수에 파문힌 감각영역 Broadmann 3b 영역에서 전위가 형성되어 전위의 뒤쪽이 보이게 되는 열린필드(open field)를 형성하게 되어 N20을 형성하게 된다. 마지막으로 병적으로 국소적인 회로(local circuit)가 형성될 때도 전위가 형성되게 된다(Figure 1).

2) 근접필드와 원위필드 전위 파형

전위를 기록하는 방식에는 근접필드(near field)와 원위필드(far field)가 있다. 근접필드에서는 전위형성부위와 기록부위가 근접하며 기록 위치에 따라 전위의 진폭 변화가 크다. 예를 들면 시각유발전위는 후두엽의 O1, O2 위치보다 위에 위치한 LO, RO에서 파형형성이 좋다. 원위필드에서는 전위 형성부위와 기록부위가 멀리 떨어져 있어, 작은 전위를 기록하는 방법이 필요하다. 이러한 필드에 따라 자극 방식, 기록 방식, 분석방법 등이 다르다. 예를 들면 원위필드 전위의 예인 청각유발전위인 10 msec 미만의 전위를 기록하려면, 자극 빈도도 빠르고, 자극 시도도 많이 하여 평균화한다. 또한 기록하는 파형의 필터링도 빠른 파형을 잡기 위해서는 고주파수 필터를 높이게 된다. 이러한 차이를 잘 이해 하는 것이 유발전위의 방법과 판독에 필요하다(Table 2).

2. 감각유발전위(somatosensory evoked potentials)

체성감각에 대한 유발전위에는 피부감각유발전위(dermatosensory evoked potentials)과 일반적인 체성감각유발전위

Table 2. Comparison of near-field and far-field potentials

	Near-field potentials		Far-field potentials	
Stimulation rate	Low	1~2	High	5~20
Averaging (trials)	Low	100	High	1000
Filtering (band pass)	Lower		Higher	
Attention	Affected		Steady	
Generator	Cortex	P100, N20	Subcortex	N18
	Viiiith nerve	I	Brainstem	II~V
	Plexus	P9, P13	Cervical cord	N14
Amplitude (mV)	Large	1<	Small	<1
Latency (msec)	Late	15<	Short	<15
Frequency (Hz)	Slow	<200	Fast	200<
Topography	Sharp gradients		Broad distribution	

Table. 3 Types of evoked potentials

Sensory system	Evoked potentials
Somatosensory	Dermatosensory evoked potentials (DSEP)
	Trigeminal nerve DSEP
	Somatosensory evoked potentials (SEP)
	Median nerve SEP
	Posterior tibial nerve SEP
Visual	Flash visual evoked potentials
	Pattern reversal visual evoked potentials (PRVEP)
	Full-field PRVEP
	Large check size
	Small check size
	Half-field PRVEP
	Large check size
	Small check size
Auditory	Short latency auditory evoked potentials
	Rarefaction
	Condensation
	Alternating
	Middle latency auditory evoked potentials
Vestibular	Vestibular evoked myogenic potentials
	Ocular
	Cervical

(somatosensory evoked potentials)로 나눌 수 있다.

피부감각유발전위는 안면 감각 신경의 하나인 삼차신경 감각유발전위(trigeminal nerve SEP)가 있고 체성감각유발전위는 팔과 다리에서 자극하는 방법으로 나눌 수 있다 (Table 3).

1) 일반체성감각경로

체성 감각에는 특수와 일반이 있어 체성감각(somatosensory)이라 하면 엄밀히 시각, 청각, 평형각을 포함하게 되어 일반체성감각(general somatosensory)이라고 하는 것이 정확하다. 그러나 특수체성은 특수감각으로 보고, 일반체성은 체성감각으로 사용하여 일반체성감각유발전위라는 말은 사용하지 않고, 체성감각유발전위로 사용한다. 일반체성감각 수용체로 크게 나누어 촉각은 압력수용체, 통증/온도감각은 자유신경말단(free nerve ending), 위치감각은 골지힘줄기관(Golgi tendon organ)을 통해 자극을 인지하고 바로 연결된 신경을 통해 중추로 전달한다. 이 때 위치감각은 두꺼운 수초로 싸여 있어서 도약전도하기 아주 유리하여 빠르게 중추까지 정보를 전달하게 된다. 체성감각유발전

위와 관련된 것은 신전, 압력과 같은 자연자극과는 달리 말초신경에 전기자극을 가하는 것으로 수용체 전도과정이 생략된다. 그러나 전달과정은 빠른 전도 경로를 타고 근육과 관절에 있는 위치감각 또는 일부 촉각과 같은 전달경로를 보인다.

체성감각자극에서 피부에 해당 신경절 부위를 자극하기 위해 피부를 자극하는 신경절 체성감각유발전위(dermatomal SEP)가 있다. 이 때는 해당신경절 부위의 위치감각이 자극되어 특정신경을 타고 뇌로 정보가 전달되어 피질에서 파형을 형성할 수 있다. 그러나 자극 강도가 증가되면 자유신경말단도 동시에 자극될 수 있어서 통각도 흥분되어 해당신경절의 위치감각과 통각 모두 흥분되어 뇌에서 파형을 기록하게 된다.² 파형 모양은 환자 협조, 의식 수준, 자극인자에 영향을 받으며, 파형의 재생성(reproducibility)도 떨어져 흔히 사용되지 않는다.

일반적으로 사용되는 체성감각자극은 피부보다는 손목과 발목 부위 말초 신경을 자극한다. 감각 또는 운동신경 자극은 주로 위치감각과 관련된 굵은 수초섬유를 타고 중추로 전달된다. 전달속도는 보통 50 m/sec (180 km/hour)로 강속구 투수의 공보다 빠르게 전달된다. 척수에서 위치감각의 전달경로는 후근을 타고 들어가 바로 후주(posterior column)를 타고 올라가게 된다. 후주를 이루는 신경섬유는 대부분 짧은 경로 섬유이며, 약 25% 정도만 체성감각유발전위의 전달과 관련된다. 후주로 올라가는 섬유는 대부분 일차섬유(first order neuron)이며, 15% 정도만 이차섬유다. 결국 팔에서 올라오는 자극(특히 흉추, 경추 기원)은 후주 신경섬유의 일부를 타고 뿔기핵(nucleus cuneatus)까지 올라간 후 시냅스를 거쳐 이차세포를 거쳐 내망상계(medial lemniscus) 경로를 타고 뇌간을 지나 시상 후복내측핵(ventroposterior lateral nucleus, VPL)까지 간다. 그 후 삼차세포가 중심구(central sulcus) 후방에 형성된 후중심구회(postcentral gyrus) 안에 위치한 일차감각운동영역(primary sensory area)로 직행하게 된다. 다리에서 올라오는 자극(요추, 천추부)은 넬관핵(nucleus gracilis)까지 간 후 역시 팔과 같은 경로를 취하며 시상 VPL에 도달한다. 그 후 시상피질 부챗살(thalamocortical radiation)을 타고 일차감각영역의 다리에 해당하는 부위, 즉 내측 반구 쪽으로 진행하게 된다. 또한 피부신경절 자극이 안면에서 이루어지면 자극된 안면신경의 위치감각은 삼차신경(trigeminal nerve)을 타고 중간뇌핵(mesencephalic nucleus)을 거쳐서 시상 VPL보다 내측에 있는 후복내측핵(ventroposterior medial nucleus, VPM)으로 간다. 그 후 피질 일차감각영역의 안면에 해당하는 부위에 정보가 전달되게 된다. 따라서 손목 정중신경을 자

극할 때는 C3' 또는 C4' 위치에서 파형이 잘 기록되는데 비해 발목 후경골신경을 자극할 때는 Cz 위치에서, 안면의 입 주위 피부신경절을 자극할 때는 C5' 또는 C6' 위치에서 기록한다.

일차감각영역은 Broadmann 영역에 따르면 네 영역으로 구성된다.³ 중심구부터 3a, 3b, 1, 그리고 2영역으로 나눌 수 있다. 촉각은 3b 영역으로 전달된다. 피부 감각의 질을 인지는 제 2영역에서 이루어진다. 근육 방추제(muscle spindle)에서 일어난 감각은 제 1영역으로 가서 물체의 크기와 모양을 구별하게 된다. 일차감각영역 정보는 바로 후두정엽 부위의 제 5, 제 6영역으로 정보가 전달된다. 그러나 제 5, 6영역은 SEP 파형 형성과는 아무 관계 없다. 또한 제 4영역은 중심구 바로 앞에 위치하고 있으며, 제 3영역과는 관계 없고, 제 1, 2영역 축삭을 받고 있고, 시상 복외측핵(VL nucleus)과 이차 감각영역(SII)의 정보를 받는다.

뇌혈관 지배를 보면 척수의 후주는 양측 후척수동맥(posterior spinal artery)의 척수 후측동맥(dorsal-lateral artery)에서, 뇌간과 시상은 후뇌혈관계(posterior cerebral circulation)의 추골기저동맥(vertebrobasilar artery)의 뇌간 심부 분지(perforating branch)에 의해서, 대뇌 겉질의 다리 일차 감각부위는 전뇌동맥(anterior cerebral artery), 팔과 안면 부위는 중뇌동맥(middle cerebral artery)에서 혈액을 공급받는다. 각각의 혈액 장애는 해당 부위를 평가하는 체성감각 유발전위에서 이상을 나타낼 수 있다.

2) 체성감각유발전위 방법

(1) 전기자극

체성감각신경 수용체를 자극하여 유발하지 않지만, 체성감각경로를 확인하기 위해서 감각신경을 자극하여 중추까지 흥분이 전달되도록 한다. 이때 주로 전달되는 부분은 빠른 신경전달 속도를 갖는 굵은 감각신경섬유이며, 이러한 섬유는 주로 관절의 위치감각을 담당하는 신경이므로, 후주와 내망상계를 통한 경로를 타고 가게 된다.

전기자극 부위로 팔에서는 정중신경과 요골신경, 다리에서는 후경골신경과 비골신경을 이용할 수 있다. 주로는 팔에서는 정중신경의 손목부위, 다리에서는 후경골신경의 발목 부위에 자극기를 고정하고 자극하게 된다. 손목에서 자극하는 위치는 긴손바닥근(palmaris longus)과 노쪽손목굽힘근(flexor carpi radialis) 힘줄 사이에 손목틈(crease) 2-4 cm 상방에 음극(cathode) 활성자극전극을 위치하고, 2-3 cm 원위부에 양극(anode) 참고자극기를 설치하여 양극차단(anodal block)을 한다. 요골신경(ulnar nerve) 자극은 요쪽손목굽힘근(flexor carpi ularis) 위의 손목틈 부위다. 발목에

서는 안쪽복사(medial malleolus)와 아킬레스힘줄(Achilles tendon) 사이에 활동자극전극을 설치하고 2-3 cm 원위부에 참고자극전극을 설치한다. 비골신경(peroneal nerve) 자극을 위해서는 무릎 비골머리(fibular head) 내측에 전극을 설치한다. 피부분절 체성감각유발전위(dermatomal SEP)에서 최적 반응을 얻기 위한 손과 발의 위치는 정해져 있다.⁴ 또한 안면에서도 삼차신경에 대한 피부분절 체성감각유발전위를 시행하기 위해 눈 주위와 입 주위를 자극할 수 있다. 자극 강도는 점차 증가시키며 자극을 느끼는 지 확인하여 감각 역치를 정하고 25% 정도 증가시킨 강도로 자극한다. 자극 빈도는 2.1-4.9 Hz로 한다. 5, 10과 같이 60의 약수로 자극하면 60 Hz 잡파가 낄 수 있어서 4.7, 4.9 같은 횡수로 자극한다. 팔에서는 9 Hz 이상, 다리에서는 5 Hz 이상에서 피질 유발전위 반응이 감소한다. 자극 기간은 1.0 msec, 자극 강도는 20 mA 이하로 한다.

(2) 기록

필터는 20-3,000Hz로 설정하고, 시행횟수는 500-2,000 번으로 한다. 일반적으로 4.7 Hz 자극으로 1,000번 시행하여, 4분 정도 걸린다. 물론 두 번 시행한 파형을 겹쳐 보아 신호와 잡파 크기를 비교해 보고, 파형이 얼마나 크고 잡파 크기의 2배 이상되는지 확인한다. 기록 시간은 팔 자극은 50 msec, 다리 자극은 100 msec 정도로 설정한다.

기록 위치는 말초, 척수, 피질부분으로 모두 포함하는 것으로 권하고 있다. 팔 손목부의 자극에서는 동측 Erb점(Erb's point, EP), 경추 5번째 부위(C5 spinous process, C5S), 반대측 두피의 C3/4' (C3/4의 2 cm 후방)에 활동기록전극을 설치한다. 각각 Erb전위(Erb's potentials, EP), N/P13, N20 파형을 기록한다(Figure 2). 다리 발목부 자극에서는 같은 쪽 오금부위(popliteal fossa), 요추 3번째와 흉추 12번째 부위(L5, T12), Fpz, Cz' (Cz의 2 cm 후방)에 활동기록전극을 설치하고, 오금전위(popliteal potential), 말총전위(cauda equina potentials, CE)와 척수원뿔전위(conus medullaris potentials, CM), N/P31, P40 파형을 기록한다(Figure 3).

검사전극 저항은 5 kΩ 이하로 유지하며, 적어도 4개 이상의 채널에서 말초, 척수, 피질부분을 모두 기록할 수 있도록 하며, 필요에 따라 채널을 늘릴 수 있다. 두피에서 기록 전극의 위치는 국외^{5,7} 국내¹ 모두 국제 10-20계를 기본으로 설명하고 있다. 검사하는 동안 움직임, 말하기, 깜박임, 주위보기 등의 모든 행동은 피하도록 하며, 통증에 민감한 경우 15 mA 정도 올릴 수 있으며, 이 정도면 일반적으로 통증을 느끼지 않는다.

Generation of somatosensory evoked potentials by median nerve stimulation

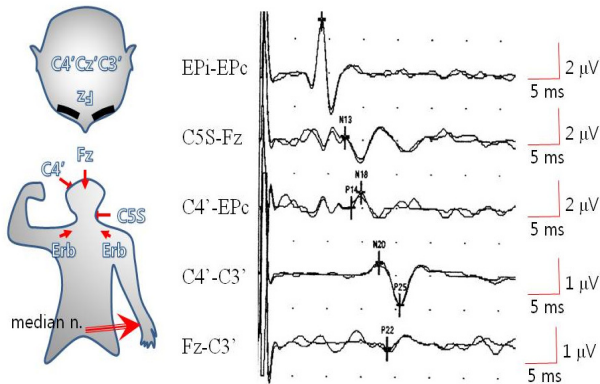


Figure 2. Location of stimulation, placement of recording electrodes, and somatosensory evoked potentials by right median nerve stimulation. The data show peripheral (Erb's potentials), subcortical (N13, P14, N18), and cortical (N20, P22) potentials. EPI/c: ipsilateral/contralateral Erb's point, C5S: spinous process of the 5th cervical vertebrae, C3'/4': 2 cm posterior to C3/C4.

(3) 판독

잠복기, 진폭, 파간잠복기 절대수치와 좌우차이를 비교한다. 일반적으로 정상결과와 같이 비교하여 정상, 손상(impaired), 소실(abolished)로 평가한다. 좌우 차이는 변화가 있을 수 있지만 50% 이상의 변화는 병적인 것으로 판단한다. 키가 작은 여성은 중추신경전달 시간보다는 전체 시간에서 짧아질 수 있다. 소아는 잠복기가 길고, 5세에 성인 수치에 도달하며, 40~50대를 거치면서 파간잠복기가 증가한다. 그러나 연령에 비례하여 증가하지는 않는다. 체온은 빨리 나타나는 파형(short latency potential)에 주로 영향을 주며, 페니토인과 같은 항간질약과 항우울제에 영향을 받을 수 있다.

3) 임상적 응용

팔신경얼기병증(brachial plexopathy)과 신경근손상을 구별하기 위해서 사용할 수 있다. 신경근손상은 후신경근신경절(dorsal root ganglion)이 살아 말초에 영양분을 공급해 줄 수 있어 Erb점 파형이 형성된다. 그러나 신경얼기병증에서는 Erb 파형이 형성되지 않는다. 또한 흉추 척수 병증에서 정중신경 유발전위는 정상이지만 후경골신경 유발전위는 요추파형 이상에서 파형이 형성되지 않는다. 또한 기타 척수병증, 척수손상 환자에서 이상을 확인하며 경과를 관찰하기 위해 이용할 수 있다. 뇌졸중에 의해 감각 피질

Generation of somatosensory evoked potentials by posterior tibial nerve stimulation

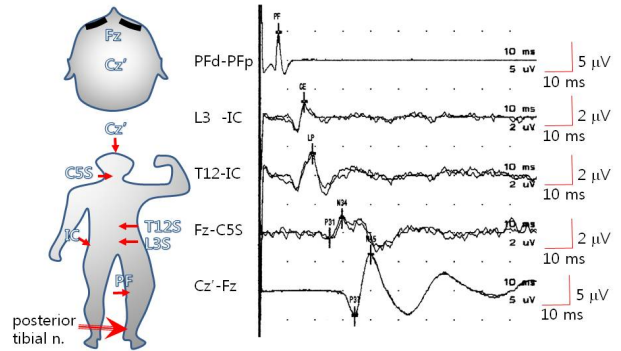


Figure 3. Location of stimulation, placement of recording electrodes and somatosensory evoked potentials by right posterior tibial nerve stimulation. The data show peripheral (PF), spinal (CE, LP), subcortical (P31) and cortical (P40) potentials on each channel. C5S, T12S, L3S; spinous process of the 5th cervical, 12th thoracic, 3rd lumbar vertebrae, PFd, PFp, distal, proximal parts of the popliteal fossa; IC, iliac crest; PF, popliteal fossa potential; CE, cauda equine potentials; LP, lumbar potentials.

부위 병변이 의심되는 경우 감각 이상 정도를 평가할 수 있다.⁸ 말초신경병변에서 근위부 병변만 있을 때 신경전도의 이상 없이 체성감각유발전위 이상이 관찰될 수 있다.⁹

3. 시각유발전위검사(visual evoked potentials)

특수체성감각자극에서 시각자극 후에 후두엽에서 근접 필드(near field)로 파형을 잡는 검사다. 종류로는 자극에 따라 구분하는데 플래쉬와 패턴역전자극 시각유발전위가 있다. 패턴역전자극은 전시야자극과 반시야자극이 있다 (Table 3). 파형 분석은 이상소견에 따라 시교차전(prechiasm), 시교차(chiasm), 그리고 시교차후(retorchiasm)로 구분하여 판독한다.¹⁰

1) 시각경로

특수체성감각인 시각은 눈을 통해 빛을 받은 후 후두엽의 일차시각감각영역까지 정보를 전달한다. 가시영역 빛 자극은 각막, 수정체, 유리체를 거쳐 망막에 도달하면 9층 구조인 망막의 가장 밖 방추 막대수용체에서 빛의 밝기와 색깔에 따라 반응하게 된다. 이 흥분은 이극성 세포(bipolar cell)를 거쳐 신경절세포(ganglion cell)에 전달된 후 망막을 나와 시신경(optic nerve), 시교차(optic chiasm), 시경로(optic tract)를 타고 시상으로 들어간다. 물론 일부는 뇌간에 가지를 낸다. 시상에 들어가 시상 후반부에 위치한 외

슬기핵(lateral geniculate nucleus)에 까지 이른다. 그 후 시냅스를 거쳐 시각부챗살(optic radiation)을 통해 후두엽 부위로 자극이 전달된다. 망막에 형성된 전위는 망막전위(retinography)로 기록할 수 있지만, 이는 안과에서 이루어지는 검사다. 신경과에서는 망막 이후의 경로, 즉 시교차전, 중, 후로 나누어 살펴보게 된다. 망막의 측두엽 시야부위(temporal field)에서 이루어진 흥분은 동측 후두엽 반구로 들어오며, 내측 시야부위(nasal field)에서 이루어진 흥분은 반대측 후두엽 반구로 들어간다. 즉 시교차 부위부터 시야 부위에 따라 경로가 다르다. 또한 위쪽 시야를 담당하는 섬유는 시교차후 형성되는 시각부챗살로 측두엽에 있는 뇌실 전면을 싸고 도는 Meyer고리(Meyer's loop)를 형성하여 전측두엽 절제수술에서 손상 받기 쉽다. 물론 아래쪽 시야를 담당하는 부위는 두정엽 부위를 지나는 시각부챗살(optic radiation)을 형성한다. 상부 시야를 담당하는 부위는 후두엽 새발톱고랑(calcarine sulcus)의 하부를 차지하며, 하부 시야를 새발톱고랑의 상부를 차지한다. 물론 중심시야부위는 후두엽의 극(pole) 부위를 형성하게 된다.

시각유발전위 방법으로 고글안경을 착용한 후 시행하는 플래쉬 자극에 의한 방법과 체커보드(checkerboard) 모양의 모니터 중간을 주시하면서 모니터 자극을 이용하는 상역전(pattern reversal) 방법이 있다. 플래쉬 자극은 외부신경세포층(outer nuclear layer)과 내부신경세포층(inner nuclear layer)에 있는 세포를 모두 흥분시키는데 비해서, 패턴역전 자극은 주로 내부신경세포층의 신경절세포(ganglion cell)를 자극하게 된다. 이후의 자극전달은 망막 부위에 따라 시교차 이후에 동측 또는 반대측으로 가게 된다. 그 후 후두엽 피질에서는 다양한 발생원¹¹에 의해서 일어날 수 있다. 특히 PET 영상 분석에 의하면 줄무늬겉질(striate cortex)뿐만 아니라, 부줄무늬겉질(parastriate cortex)에서도 흥분이 전달된다 따라서 넓은시야자극(large field stimulation)에 의한 자극으로 형성되는 파형의 벡터는 반대편 후두엽을 향하게 된다. 따라서 반대편 전극에서 최대값을 보인다. 이것을 ‘역편측화(paradoxical lateralization)’라고 한다.

2) 시각유발전위의 방법

(1) 빛 자극

플래쉬 자극은 고글안경을 통해 전시야(whole field)를 자극하게 되지만, 패턴역전자극은 모니터에 일정한 크기로 자극을 정해주어 시야 일부를 자극할 수 있다. 전체 모니터 크기는 시야 필드로 볼 수 있고, 체크 크기는 체크 사이즈로 볼 수 있다. 일반적으로 체크사이즈 12~16분의 자극은 시야 3~4도의 황반시야(macular vision) 부위를 자극

하게 된다. 이러한 자극은 시신경 병변에 매우 민감한 것으로 알려져 있다. 그러나 시력 감소 역시 매우 민감하게 반응하게 된다. 체크사이즈 40~50분은 시야 16~32도의 황반주변부위(parafoveal area)까지 자극하게 된다. 현재 미국 뇌파학회의 지침에 의하면 24~32분 체크사이즈로 6~12도 시야로 검사하는 것을 권하고 있다. 자극 빈도는 4Hz 미만의 상역전 자극을 권하고 있다. 상역전 2회는 주기 1회에 해당되며 밝은 곳과 어두운 곳의 조도 차이가 50% 이상은 되어야 한다. 대비효과가 떨어질수록 잠복기가 늘어나게 되어 일정하게 유지해야 한다.¹²

전시야 자극에서는 단일안구자극(monocular stimulation)을 쓰지만, 반시야 자극에서는 반응의 효율을 높이기 위해서 양안 자극(binocular stimulation)을 쓴다.

(2) 기록

기록전극 방식은 국제 10-10법에 따른 전극부착법을 사용하지 않고 1980년대 발표된 Queen Square 전극부착법을 사용한다(Figure 4). O1, O2 전극은 반시야자극(half-field stimulation)에서 P100의 등전위지역(isopotential zone)에 위치하기 때문이다. 따라서 전극을 보다 상부와 외측으로 이동하여 MO는 중앙후두엽(midoccipital) 전극으로 뒤통수점(inion)에서 5cm 상방, LO는 좌측 후두엽(left occipital) 전극으로 LO는 MO에서 5 cm 좌측, RO는 5 cm 우측, MF는 중앙전두엽(midfrontal) 전극으로 코뿌리점(nasion)에서 12 cm 상방에 위치한다. A1, A2는 기준전극으로 사용하고, 정수리부위에 접지전극을 설치하고, MF를 기준으로 LO, MO, RO에서 기록된 파형과 A1+A2 기준전극으로 MF에서

Generation of P100 by visual stimulation

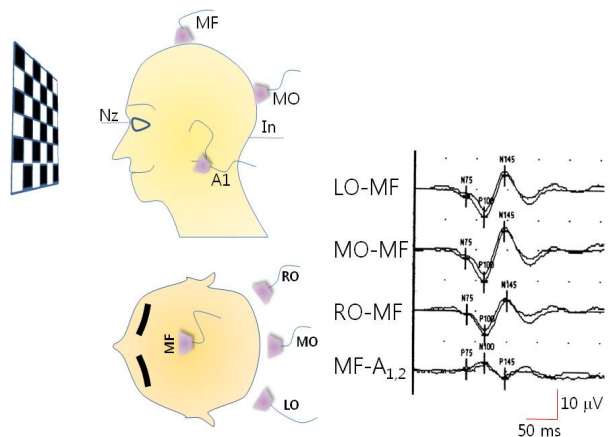


Figure 4. Pattern reversal visual evoked potentials on Queen Square montage. The data show P100 waves on LO, RO, and MO recordings. LO, left occipital; RO, right occipital; MO, mid occipital.

기록된 파형을 보여주는 네 채널 몽타주를 이용하게 된다. 반시야 자극에서는 LO에서 5 cm 외측으로 더 간 LT (left temporal) 전극, RO에서 5 cm 외측으로 더 간 RT (right temporal) 전극을 추가로 이용하게 된다.

필터는 1~100 Hz로 설정한다. 적절한 모든 반응을 기록하기 위해 기록기간(sweep length)을 250 msec까지 하며, 만일 반응을 보이지 않으면 500 msec까지 기록해 볼 수 있다. 항상 100~400회의 반복으로 기록된 2개 파형을 비교하여 확인하게 된다.

파형은 N75-P100-N145 반응을 보여주지만 P100이 나타나지 않아도 100 msec 부근에 전두엽 음극 파형이 형성될 수 있어 MF 기준전극에 의한 P100 파형이 나타날 수 있으며, P100이 위쪽이나 아래쪽으로 이동할 수 있어 주의해야 한다. 좌우에 형성되는 반응은 대칭을 이루므로 좌우 차이가 어떤지 LO와 RO 전극에서 확인하는 것도 필요하다. 또한 반응을 주는 환자 상태의 인자는 다음과 같다. 첫째, 동공 크기에 따라 차이를 나타낼 수 있다. 동공 차이는 망막에 도달하는 조도 차이를 가져오게 하여 비정상 반응을 일으킬 수 있다. 둘째, 시력이다. 특히 20/100 이하의 시력은 중간 정도의 필드 크기와 체크 크기를 이용하여 검사할 수 있다. 셋째, 각막 또는 렌즈 혼탁이다. 넷째, 망막 병변에 따라 차이가 있을 수 있다.

(3) 판독

잠복기를 우선으로 보고 그 후 진폭을 확인한다. 그 이유는 진폭의 변화 때문이다. 즉 굴절률의 변화나 안구 혼탁도에 따라 충분히 진폭이 변할 수 있기 때문이다. 잠복

기 변화는 주로 MO에서 확인한다. 적어도 2.5~3.0 표준편차 이상 증가할 경우 이상으로 본다. 잠복기 증가는 망막 또는 시신경의 변화를 확인하기 위해서 중요하다.

진폭 감소는 특이적이지는 않지만 진폭비가 2.5~3이면 이상으로 볼 수 있다. 그러나 최대값 부위가 MO보다 아래로 내려가 뒤통수점 부위일 수 있으며, 진폭비는 가우스 분포를 따르지 않으며, 다른 변수 즉 굴절률, 초점 맞추기, 부주의, 졸림, 그리고 안구혼탁 등에 의해서 충분히 변화될 수 있어서 판독에 주의를 요한다.

또한 반구 간 차이비(interhemispheric difference ratio)에 대해 확인하는 것이 중요하다. 일반적 반구 간의 차이 비율은 1~2.5 이하다. 이상이 관찰되는 부위가 LO, MO, RO 중에서 어디이냐에 따라 시교차전, 중, 후로 구분할 수 있다(Figure 5). 한쪽 눈 자극에서만 이상이 있을 때는 시교차전 병변(prechiasmatic lesion)을 의미하며, 좌측, 우측 자극에 따라 이상부위가 교차하면 시교차 병변(chiasmatic lesion)을 의미한다. 좌측이나 우측이나 같은 부위에서 이상이 있을 때는 시교차후 병변을 의미한다. 이 때 만일 큰 필드 자극이 이루어지면 역설적 편측화(paradoxical lateralization)가 이루어질 수 있다. 즉 좌측이나 우측 자극이나 모두 LO에 이상이 있다면 우측 시교차후 병변일 수 있다는 것을 의미한다. 이를 확인하기 위해서는 반시야 자극이 필요하다(Figure 6).

종종 'W' 형태 파형이 기록될 수 있는데, 임상적 의미는 없다. 그 이유로는 첫째, 전두엽 음성(frontal negativity)과 후두엽 양성(occipital positivity) 간의 잠복기 차이가 있을 때, 둘째, 시교차후 전달장애에서 나타날 수 있는데, 반측

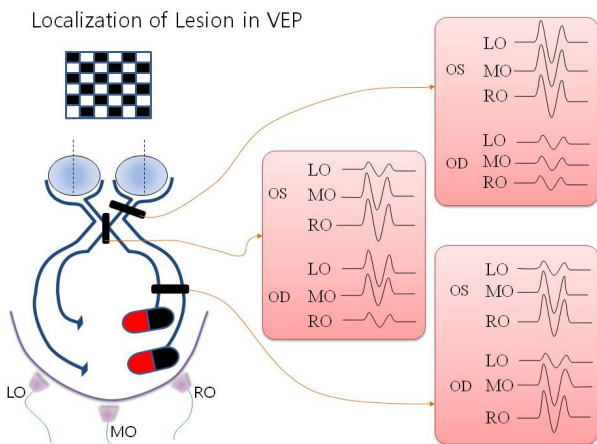


Figure 5. The localization of lesion in abnormal visual evoked potentials. Each data shows prechiasmatal, chiasmatal and retrochiasmatal defects. OS/OD: left/right eye stimulation. LO, left occipital; MO, mid occipital; RO, right occipital.

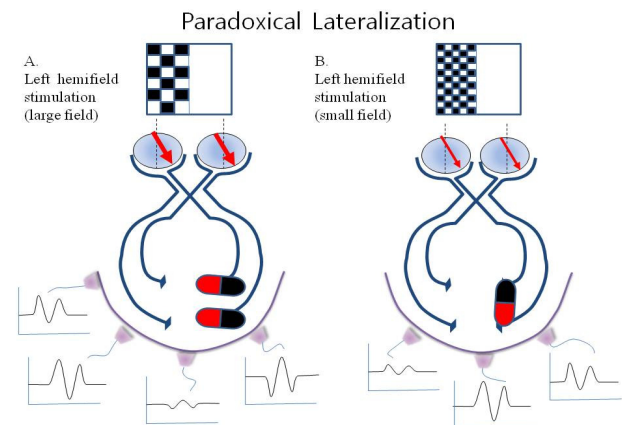


Figure 6. Paradoxical lateralization of P100 on occipital recordings. The schematic drawings show paradoxical lateralization on large hemifield stimulation (A), but not on small hemifield stimulation (B) because of the directions of occipital dipoles.

시야검사로 확인할 필요가 있다. 셋째, 수평적시야장애(altitudinal field defect)에서 상부와 하부의 시야에 차이가 있을 때, 넷째, 큰시야 자극을 사용할 때, 황반부(macular area)와 주변망막부(peripheral retinal area) 사이에 전도차이가 있을 때 나타날 수 있어서 체크 크기를 조정하여 극복할 수 있다.

3) 임상적 응용

다발성경화증과 같은 탈수초성질환에서 사용될 수 있으며,¹³ 시신경과 후두엽 병변에 사용될 수 있다. 시교차후 병변을 확인하기 위해서는 전시야보다는 반측시야 자극 유발전위가 효과적이다.¹⁴ 특히 뇌하수체 종양에서 시신경, 시교차, 시교차 후의 기능 이상을 파악하며, 수술 전후의 비교검토를 가능하게 한다. 시교차후 이상소견이 있을 경우는 반드시 MRI로 이상을 확인하는 것이 필요하다. 또한 결절시각상실(cortical blindness)과 히스테리시각상실(hysterical blindness)을 확인할 수 있다. 또한 혼수 상태의 의식장애, 식물인간 상태의 만성 의식장애 환자에서 시각이 유지되는지 파악하기 위해서 사용될 수 있다. 또한 미숙아, 신생아 등의 협조되지 않는 소아과 환자의 시각경로의 성숙 정도를 객관적으로 파악할 수 있다. 다양한 시각경로에 대한 유발전위와 뇌 영상 검사를 종합한다면 효과적으로 시각경로 이상을 파악할 수 있다.¹⁵

4. 청각유발전위(auditory evoked potentials)

특수체성감각에서 청각을 이용하여 유발전위를 기록하는 방법이다. 소리자극은 클릭 또는 돌발음파(tone burst) 소리 자극을 이용할 수 있다. 파형이 기록되는 시간과 소리 자극의 방향에 따라 구분할 수 있다(Table 3). 첫 1.2 msec 이전에 기록되는 전위는 와우 증폭성(cochlear microphonic)으로 고막에 전극을 설치하거나 외이도에 설치하여 기록하는 와우전기도(electrocochleography)로 볼 수 있다. 그 후 10 msec까지의 파형을 기록하는 짧은 잠복기 청각유발전위(short latency AEP)가 있으며, 10~50 msec까지의 파형을 기록하는 중간 잠복기 청각유발전위(middle latency AEP)가 있다. 이 때는 근육성전위(myogenic potential)와 신경성전위(neurogenic potential)가 섞이게 되는데, 신경성전위는 N20, P30, N40 파형을 만들게 된다. 이러한 파형은 시상과 일차청각피질 전위를 반영한다. 그 후 50 msec 이상의 긴 잠복기 청각유발전위(long latency AEP)가 있다. 이 때는 N100, P200, N250, 그리고 P300 파형을 형성한다. 치매 진단에 P300을 이용할 수 있지만, 임상에서 주로 사용되는 청각유발전위는 짧은 잠복기 청각유발전위이다. 제 I

파형부터 제 V 파형까지 분석하여 말단기관(end organ), 청신경(cochlear nerve), 하부뇌간(lower brainstem), 상부뇌간(upper brainstem)으로 구분하여 판독한다. 흔히 짧은 잠복기 청각유발전위는 뇌간유발전위(brainstem evoked potentials)로 불리기도 한다. 이러한 명칭은 일반적인 유발전위 명명 방식인 자극에 따른 방법과는 달리 파형의 발생원 중심으로 부르는 방식이다. 또한 기록에서도 몽타주 설정에서 활동기록전극을 참고기록전극 뒤에 위치시켜 양극 파형을 위로 올라가게 기록하는 것도 파격적이다. 그러나 짧은 잠복기 유발전위의 제 I파형은 뇌간에서 발생하지 않는다. 또한 뇌간유발전위는 다른 체성감각유발전위에서도 형성될 수 있다. 따라서 짧은 잠복기 청각경로 뇌간유발전위라고 하는 것은 명칭오류(misnomer)라 볼 수 있다.

1) 청각경로

가청영역 청각자극은 고막을 울리게 되고, 3개 이소골(malleus, incus, stapedius)에서 증폭된 후 내이 와위(cochlea)의 난원창(oval window)에 힘을 전달한다. 내이의 안뜰계단(scala vestibule)과 고실계단(scala tympani)에 위치한 외림프(perilymph)에 전달된 후, 이차적으로 기저막(basilar membrane), 덮개막(tectorial membrane)과 나선기관(spiral organ)을 포함하는 내림프(endolymph)를 자극하게 된다. 내이 내림프(endolymph)에 전달된 진동은 특정 주파수에 해당하는 부위의 Corti기관(organ of Corti)에 있는 유모세포를 자극하게 된다. 유모세포가 덮개막에 편위되는 정도에 따라 수용체 전위를 발생하게 된다. 이러한 전위는 신경전달물질을 방출하게 되며, 충분한 신경전달물질이 방출하게 되면 신경말단에서는 활동전위가 발생하게 된다. 신경세포 말단은 나선신경절(spiral ganglion)에 신경핵이 있는 양극성 세포로 반대측 즉 뇌간 쪽으로 청신경을 구성하며 청신경핵까지 이어지게 된다. 와우(cochlea)는 2.5바퀴 회전 구조로 31.5 mm 길이에 20,000~30,000 유모세포가 있다. 고주파수 소리는 와우 기저부에 위치하며, 저주파수는 최상부에서 인지하게 된다. 청신경핵은 배부(dorsal cochlear nucleus)와 복부(ventral cochlear nucleus)로 이루어지며, 이후 올리브상핵복합체(superior olivary complex), 뇌간 외측망상체(lateral lemniscus)를 거쳐 하구(inferior colliculi)까지 전달된다. 그 후 시상 내측슬상체(medial geniculate body)를 거쳐서 측두엽 가장 위쪽에 위치한 헤슬리랑(Heschl gyrus)으로 가며, 그 곳에 특정 주파수에 맞추어 형성된 일차청각영역의 신경세포를 흥분시키게 된다. 이러한 과정에 좌우로의 연결이 네 군데서 일어나는 데 우선 청신경핵의 내부선형(internal striate), 올리브상핵 부위의 능형체(trapezoid

body), 외측 망상체(lateral lemniscus) 부위의 좌우 연결, 하구(inferior colliculi)의 좌우 연결을 들 수 있다. 따라서 청각자극에 의한 파형의 형성은 좌우 연결이 잘 발달된 경로에 의해 기록되므로 청각자극의 일측성 경로를 확인하기 위해서 잡파(masking) 소리를 반대측 귀에 주게 된다. 일반적인 청각유발전위는 하구까지의 경로에서 형성되는 파형을 기록하게 된다.

2) 청각유발전위 방법

(1) 소리자극

청각으로 사용하는 자극은 100 msec의 클릭음을 주로 사용한다. 대부분의 클릭음은 2~5 KHz 사이 주파수를 이용한다. 자극은 11 Hz 빈도로 주게 된다. 우선 낮은 강도로 자극을 주면서 자극 역치를 확인하고 70 dB SL 강도로 자극을 주며 반대측에는 30dB 감소한 크기인 40dB 강도로 잡파음(masking noise)음을 주어 반대측으로 골/음전도(bone/air conduction)에 의한 전파가 이루어지지 않도록 한다.

클릭 자극 강도는 dB당 0.03 msec 정도 잠복기가 짧아진다. 모든 파형이 같이 짧아져서 파간 잠복기는 일정하게 유지되며, 절대잠복기만 감소하게 된다. 소리자극 빈도를 80Hz까지 증가시키면 제 I 파형 잠복기는 0.14 msec 증가하며, 제 V 파형은 0.39 msec까지 증가한다. 20 Hz마다 제 I-V 파형 파간잠복기가 0.1 msec 정도 연장된다. 진폭의 감소도 일으키는데, 특히 30 Hz 이상의 자극 빈도에서 진폭 감소가 심하다. 자극 극성은 고막의 첫 움직임이 귀 밖으로 향할 때, 고막의 첫 움직임이 귀 안으로 향할 때, 그리고 귀 안과 밖 교대로 움직이게 하는 자극이 있다.

(2) 기록

파형은 청각자극에 의해 뇌간에서 이루어지는 파형을 두피의 Cz 부위에서 잡게 된다. 결국 Cz에서 원위필드전위(far field potentials)를 기록하는 것이다. Cz 기록 파형의 활동기록전극 극성은 양극의 파형으로 모양이 밑으로 뒤집히게 되므로 임으로 활동기록전극과 참고기록전극의 순서를 바꿔서 파형이 위로 올라가도록 한다. 즉 A1-CZ, A2-Cz로 이루어진 몽타주를 이용하게 된다.

기록되는 원위필드 전위는 필터를 높게 설정하여 저주파수는 10~100 Hz, 고주파수는 3,000 Hz로 설정한다. 진폭도 아주 낮아 평균화 횟수도 1,000~4,000번 이상 시행하며, 50만~100만 배 정도 증폭시키게 된다. 적어도 2개의 파형을 겹쳐서 진폭파형의 잠복기 최대차이가 80 msec 이하여야 재현성을 인정할 수 있다. 기록 시간(dwelling time)은 0.1 msec를 사용하며, 분석시간은 정상인에서는 10 msec면 충분하지

만, 이상이 있을 때는 10~15 msec까지 연장 기록해야 한다.

신생아의 성장 정도에 따라 파형도 변할 수 있는데, 제 I 파형은 3~6개월 때 충분히 성숙하게 된다. 제 III, V 파형은 2세까지 성숙하여 제 I-III, I-V 파형 파간잠복기는 성인 수준에 이르게 된다. 클릭음 역치도 신생아는 30 dBHL, 3개월 20 dBHL, 12개월 15 dBHL까지 내려갈 수 있다. 온도에 따른 변화는 중심체온이 1°C 떨어질 때마다 제 V 파형의 잠복기는 0.17 msec씩 연장되어, 26°C 이하에서는 두 배 이상 잠복기가 연장되어 서로 구분하기 힘들게 된다.

(3) 판독

정상적으로 7개 파형이 형성되는데, 판독에 이용되는 파형은 첫 다섯 파형이다. 가장 빠른 제 I 파형은 1.4 msec 잠복기를 가지며, 가장 큰 파형인 제 IV, V 파형은 각각 정상인에서 84%, 54%에서 구분되지 않는다. 제 I 파형은 1.2 msec보다 짧게 나타나지 않는다. 그 이전에 형성되는 파형은 잡파나 와우 증폭파(cochlear microphonics)이다. 자극의 방식을 희박(rarefaction)과 압박(condensation)을 교대로 주는 교대(alternating) 자극으로 잡파를 제거할 수 있다. 또한 파형은 자극 동측 귀 주변(periaural area)에서 형성되는 음극성과 두피에서 형성되는 쌍극자에 차이에 의해 나타나므로 동측 귀와 정수리 부분을 엮은 Ai-Cz 채널에서는 잘 나타나지만, 반대측 귀와 정수리 부분을 연결한 Ac-Cz 채널에서는 형성되지 않는다. 제 V 파형은 가장 뚜렷한 파형으로 5.0 msec 이후에 나타나며, 그 이전에 나타나기는 어렵다. 약 1/3 환자에서는 하나의 파형으로 나타나는 IV/V 복합체를 형성하기도 하며, 일부는 쐐기(notch) 모양의 제 IV 파형이나 제 V 파형을 형성하기도 한다. 클릭 강도를 약화시키면 파형이 소실되는데, 제 V 파형은 가장 늦게까지 남아 10 dB SL까지 낮추어도 관찰될 수 있다. 제 V 파형은 정수리에서 양극을 띄며, 자극 귀 쪽에 주로 분포한다. 따라서 Ai-Cz에서는 동측 귀의 침범 정도에 따라 부분적으로 제 V 파형이 감쇄되므로, Ac-Cz에서 제 IV 파형과 선명히 구별되어 보이게 된다(Figure 7). 제 III 파형은 제 I 파형과 제 V 파형 사이에서 가장 뚜렷한 파형이다. 제 II 파형과 제 III 파형은 두피에 양극성의 전위로 폭넓게 나타나지만, 제 II 파형은 주로 동측에 영향을 미치고, 제 III 파형은 반대측에 영향을 미치게 되므로 제 II 파형은 Ac-Cz에서 잘 보이고, 제 III 파형은 Ai-Cz 채널에서 잘 보이게 된다. 일반적으로 제 II 파형과 제 III 파형은 Ac-Cz에서 각각 잠복기가 길어지고 감소하게 되어 Ac-Cz 채널에서 파형이 합쳐져 쌍봉(bilobed) 형태의 제 III 파형으로 나타날 수 있는데, 이 때 잠복기는 두 파형의 중간지점으로 잡을 수 있다. 제 VI, VII 파형은 진단적으로 이용되지는 않는다.

Generation of Wave I-V by Auditory Stimulation

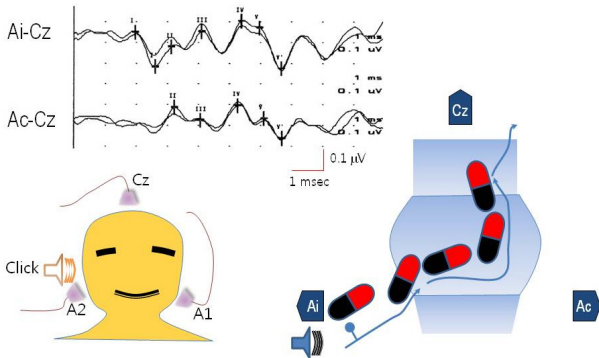


Figure 7. Generation of potentials along the auditory pathways. The data show wave I, II, III, IV, and V at Cz electrode, based on ipsilateral or contralateral ears.

3) 임상적 응용

소뇌연수각(cerebellopontine angle)에 이상으로 청각경로 특히 청신경에 이상이 있을 때 제 I파형은 형성되지만 그 이후의 제 II, III, IV, V파형이 연장되다 소실되게 된다. 뇌간 병변에 의해서는 해당 병변 위치에 따라 제 III파형부터 제 V파형까지 이상소견을 보일 수 있다. 뇌사와 혼수 상태에서 뇌간 기능을 평가하기 위해 보조적인 검사로 시행할 수 있으며, 신생아에서 뇌간 기능의 성숙 정도를 파악하기 위해서도 검사를 시행할 수 있다.¹⁶ 최근에는 돌발음파(tone burst)로 자극하고 제 V파형을 분석하여 뇌압상승 또는 뇌종양환자의 악화를 확인하는데 도움을 줄 수 있다고 한다.¹⁷

5. 기타유발전위

1) 전정신경유발전위(vestibular myogenic evoked potentials)

최근 국내에서도 어지러움 환자에서 전정신경유발전위가 사용되고 있다. 외이도를 통해 전달된 청각자극은 고막과 이소골을 거쳐 내이에 전달되고, 내이에 형성된 파동은 구형낭(sacculle)을 자극하게 된다. 구형낭에서 흥분이 일어난 이극성(bipolar) 하전정신경은 안뜰신경절(Scarpa ganglion)을 거쳐 전정신경을 통해 뇌줄기의 전정신경핵(vestibular nuclei)까지 전달된다. 그 후 이차신경은 내전정척수로(medial vestibospinal tract)를 거쳐 뇌간과 상부척수에 분포하는 부신경핵(accessory nucleus)에 간다. 그 후 삼차신경은 부신경핵에서 나와 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid muscle, SCM)에 도달한다. 내전정척수로는 억제성으로 근육의 긴장도를 조정하므로 흉쇄유돌근을 수축시킬 때 자극에 의해 일시적으로 힘이 빠지게 되고 이로 인해 파형이

Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potentials Sacculo-colic reflex

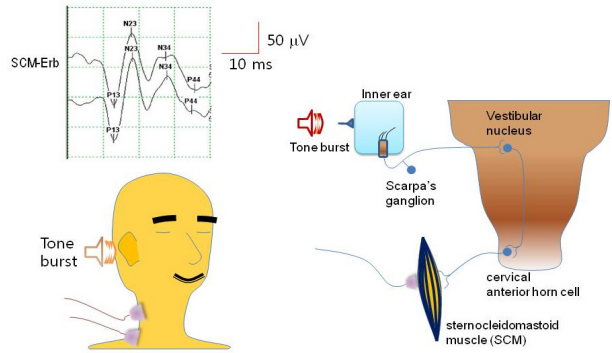


Figure 8. Cervical vestibular evoked myogenic potentials (cVEMP). Schematic drawings show cVEMP pathway and location of electrodes. The data reveal myogenic potentials (P13, N23).

형성되게 된다. 원래 감각유발전위는 감각경로에서 이루어지는 것을 평가하는 데 비해 전정유발전위는 감각자극이기는 하나 감각경로 보다는 3개의 신경세포를 거쳐 이루어지는 반사경로를 보는 것이다. 즉 전정척수반사(vestibulo-spinal reflex)의 하나인 난형경부반사(sacculocollic reflex)를 평가하는 것으로 볼 수 있다(Figure 8). 소리자극에 대해 구형낭은 500~1,000 Hz에 주로 흥분되어, 500 Hz 정도의 자극을 주어 와우(cochlear)의 민감한 주파수를 피하여 자극하지만 어느 정도 영향을 줄 수 있다. 또한 기록 부위도 근육에서 이루어져 50~100 μV 정도의 진폭을 보이고, 억제성 반응을 확인하게 된다.¹⁸

기록되는 파형은 ‘M’자 형태의 두 개의 음극 파형 복합체다. 첫번째 음극파는 23 msec에서 두번째 음극파는 34 msec에 기록되어, 표시는 P13, N23, N34, P44로 표시한다. 따라서 첫 파형에 대해서는 P13-N23, 두번째 파형은 N34-P44로 표시한다. 이 때 전정신경에 특이성이 높은 것은 첫 파형으로 P13-N23 파형을 분석한다.

일부 경부 신전근인 두판상근(splenius capitis), 승모근(trapezius)에서 기록하면 흥분성 신호를 받을 수 있다고 하며, N34-P44는 와우(cochlear)가 자극되면서 일어나는 안면근육의 수축력 변화와 같이 와우의 자극으로 유발되는 놀람반사(startle reflex)에 의한 파형이라고 하기도 한다.^{18,19}

판독은 P13 잠복기 또는 P13-N22 진폭의 좌우평균치에 대한 좌우차이 비율로 평가한다.

기타 안와 상하 부위에 기록하여 외안근 전정유발전위(ocular vestibular myogenic potentials)를 시행하여 일부 구형낭의 반(macula) 일부를 흥분시켜 상전정신경을 통하는 경로를 확인하는 검사로 알려져 있지만 임상적 유용성에

대해서는 좀 더 연구가 필요하겠다.

2) 레이저 유발 체성감각전위(laser-induced somatosensory evoked potentials)

레이저유발전위(laser evoked potentials)는 작은 섬유(small fiber)의 감각경로 기능을 평가하는 방법이다. 손등이나 발등 피부에 레이저 열, 통각 자극(laser thermal, nociceptive stimuli)을 가하여 피부에 위치한 자유신경말단(free nerve ending)을 자극한 후 얇은 유수섬유(A δ -fiber)와 무수섬유(C-fiber)를 타고 가서 주요 피질 유발전위인 N2-P2 복합체를 확인하는 방법이다. 일반적인 체성감각유발전위에서 이루어지는 굵은 유수섬유(A β -fiber)경로와 다른 외측 척수 시상경로(lateral spinothalamic pathway)를 타고 가는 것을 확인할 수 있게 된다. 현재까지 인정된 통각경로(nociceptive pathway)의 하나인 외측 척수시상경로(lateral spinothalamic pathway)를 반영하는 유발전위로 볼 수 있다.^{20,21}

결 어

유발전위는 신경계 기능 평가의 하나로 임상적인 진찰과 함께 이상여부를 객관적으로 표현할 수 있다. 특히 기능적인 면의 이상을 객관적으로 표현하여 추적관찰 역시 용이하게 해준다. 뇌 영상 방법과 함께 이용하여 더욱 효과적으로 다양한 신경계 질환 환자에서 유용하게 사용할 수 있다.

REFERENCES

1. Park KD, Seo DW. Evoked potentials. In: Park SH. Practical guidelines for clinical neurophysiology. Vol. 1. Seoul: *The Korean Society for Clinical Neurophysiology*, 2009;36-76.
2. Toleikis JR, Calvin AO, Shapiro DE, Schafer MF. The use of dermatomal evoked responses during surgical procedures that use intrapedicular fixation of the lumbosacral spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1993;18:2401-2407.
3. Jones EG. Neurotransmitters in the cerebral cortex. *J Neurosurg* 1986;65:135-153.
4. Benzon HT, Toleikis JR, Dixit P, Goodman I, Hill JA. Onset, intensity of blockade and somatosensory evoked potential changes of the lumbosacral dermatomes after epidural anesthesia with alkalized lidocaine. *Anesth Analg* 1993;76:328-332.
5. Society ACN. Guideline 9D: Guidelines on short-latency somatosensory evoked potentials. *J Clin Neurophysiol* 2006;23:168-179.
6. Medicine AAoE. Guidelines for somatosensory evoked potentials. *Muscle Nerve Suppl* 1999;8:S121-S138.
7. Mauguière F, Allison T, Babiloni C, Buchner H, Eisen AA, Goodin SJ, et al. Somatosensory evoked potentials. In: Deuschl G, Eisen A. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Neurophysiology. *Amsterdam: Elsevier* 1999;79-90.
8. Nelson FW, Grotta JC, Goldie WD. Somatosensory evoked potentials (SEPs) in pure sensory stroke (PSS). *Stroke* 1986;17:778-779.
9. Merle PE, Joan N, Varnet O, Dupuy-Sonntag D, Perin B, Macron JM. Somatosensory evoked potentials for the diagnosis of proximal sensory median neuropathy with preserved distal sensory action potential. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2003;43:503-506.
10. Aminoff MJ, Goodin DS. Visual evoked potentials. *J Clin Neurophysiol* 1994;11:493-499.
11. Celesia GG. Steady-state and transient visual evoked potentials in clinical practice. *Ann N Y Acad Sci* 1982;388:290-307.
12. Cant BR, Hume AL, Shaw NA. Effects of luminance on the pattern visual evoked potential in multiple sclerosis. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1978;45:496-504.
13. Leocani L, Martinelli V, Natali-Sora MG, Rovaris M, Comi G. Somatosensory evoked potentials and sensory involvement in multiple sclerosis: comparison with clinical findings and quantitative sensory tests. *Mult Scler* 2003;9:275-279.
14. Kuroiwa Y, Celesia GG. Visual evoked potentials with hemifield pattern stimulation. Their use in the diagnosis of retrochiasmatic lesions. *Arch Neurol* 1981;38:86-90.
15. Tobimatsu S, Celesia GG. Studies of human visual pathophysiology with visual evoked potentials. *Clin Neurophysiol* 2006;117:1414-1433.
16. Markand ON. Brainstem auditory evoked potentials. *J Clin Neurophysiol* 1994;11:319-342.
17. Stone JL, Calderon-Arnulphi M, Watson KS, Patel K, Mander NS, Suss N, et al. Brainstem auditory evoked potentials-a review and modified studies in healthy subjects. *J Clin Neurophysiol* 2009;26:167-175.
18. Wu CH, Young YH, Murofushi T. Tone burst-evoked myogenic potentials in human neck flexor and extensor. *Acta Otolaryngol* 1999;119:741-744.
19. Ferber-Viart C, Duclaux R, Colleaux B, Dubreuil C. Myogenic vestibular-evoked potentials in normal subjects: a comparison between responses obtained from sternomastoid and trapezius muscles. *Acta Otolaryngol* 1997;117:472-481.
20. Truini A, Romaniello A, Galeotti F, Iannetti GD, Cruccu G. Laser evoked potentials for assessing sensory neuropathy in human patients. *Neurosci Lett* 2004;361:25-28.
21. Truini A, Rossi P, Galeotti F, Romaniello A, Virtuoso M, De Lena C, et al. Excitability of the Adelta nociceptive pathways as assessed by the recovery cycle of laser evoked potentials in humans. *Exp Brain Res* 2004;155:120-123.