J Korean Neurol Assoc / Volume 21 / June, 2003

뇌파의 전기생리학

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경과학교실

홍승봉 정기영

Basic Electrophysiology of the Electroencephalography

Seung Bong Hong, Ki-Young Jung

Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine

Although neuroimaging techniques and other diagnostic procedures has been developed, electroencephalography (EEG) is still very important for the evaluation of various brain diseases and functional studies of human brain. EEG is formed mainly by spatial and temporal summations of postsynaptic potentials generated from a large population of pyramidal cells that can be considered as a collection of oscillating dipoles. EEG shows continuous rhythmic oscillation depending on sleep-waking state. Alpha rhythms are generated in cortical areas acting as epicenters with local spread, although the precise cellular mechanism is still unknown. It's been known that neurons in the nucleus reticular thalami are the pacemakers of sleep spindle. Alterations in the circuit of the reticular nuclei-thalamocortical relay neuron-cortical neuron are responsible for generalized spike and wave complexes. At the intracellular level, large paroxysmal depolarizing shifts produce focal epileptic spikes. Slow waves of EEG appear to be related to thalamocortical and/or corticothalamic deafferentation. The interpretation of routine EEG requires a well training from a qualified EEG teacher and reading adequate amount of EEG under supervision. Frequent misinterpretations of routine EEG have been observed in both local clinics and general hospitals. The most common findings of normal routine EEG misinterpreted as abnormal are normal variants and artifacts of various sources. There are considerable variations of normal EEG rhythms and pseudoepileptiform discharges. Eyeball movements produce prominent or subtle EEG changes over the frontal regions that are sometimes hard to be differentiated from abnormal slow waves over that region. Systematic approach was described for a good interpretation of routine EEG.
J Korean Neurol Assoc 21(3):225~238, 2003

Key Words: Electroencephalography (EEG), Electrophysiology, Pathophysiology, Epileptiform discharges, Normal variants, EEG artifacts

서 론

뇌파는 뇌 세포들의 생화학적 상호 작용에 의해 발생하는 이온의 흐름으로 인해서 생성되는 뇌의 전기적 활동으로 정의할수 있다.[1] 신경영상술이 고도로 발달하여 간질을 비롯한 뇌신경 질환의 진단에 중요한 위치를 차지하고 있어, 뇌파검사가 예전에 비해서 중요성이 적다고 보는 견해도 있다. 그러나, 뇌파검사는 다음과 같은 이유로 간질 및 기타 뇌 질환의 진단에 있어 아직도 가장 중요하고 필수적인검사이다.

첫째, MRI, PET이나 SPECT검사는세포의수소원자의 함량이나, 세포 활동에 이차적으로 수반되는 대사 변화나 혈류변화를측정하는방법이나, 뇌파검사는신경세포에서 발생하는 전기적인 활성도를 직접 측정하는 방법으로, 간질과 같은 신경세포의 전기 활성 조절의 이상에 의해서 발생하는 질병을 진단하는 데 유용하다.[2] 둘째, 간질의 약 20~30%에서는 영상학적 검사에서 이상 소견이 나타나지 않는, 소위 비병변성 간질로 분류된다. 셋째, 영상술은 공

Seung Bong Hong, MD, PhD
Department of Neurology, Samsung Medical Center,
Sungkyunkwan University School of Medicine,
#50 Irwon-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-710, Korea
Tel: +82-2-3410-3592, Fax: +82-2-3410-0052
E-mail: sbhong@smc.samsung.co.kr

간분해능은 우수하나 시간 분해능이 낮아서 뇌세포의 어느 한 시점만의 정보를 제공할 뿐 시시각각 변화하는 뇌세포의 활성도를 반영하지는 못한다. 이에 비해, 뇌파검사는 수 millisecond 단위 수준에서 뇌세포의 전기적 활성도를 반영할 수 있으며, 특히 발작 시 뇌파검사는 발작 당시의 발작파의 발생 및 전파 과정을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다. 넷째, 전산기술, 통계학 및 수리물리학의 발달로 뇌파 분석에 다양한 기법들이 적용되면서 이 전의 시각적인 분석으로알수 없었던새로운정보들을얻을수 있게 되었다. 특히, 뇌파의 비선형분석을 이용한 간질 발작의 사전 예측은 미국간질학회에서 간질의 21세기 혁신적인 치료 방법 중의하나로선정될 만큼, 간질의 치료에 있어서 새로운장을 열고있다.[3]

뇌파는 뇌세포의 활동과 기능을 시시각각 잘 반영하여 주지만 의식의 수준, 졸림, 수면의 단계, 복용하고 있는 약물 등에 따라서 변화가 심하며, 임상의들은 경험적으로 뇌파의 특정 양상이나 모양으로 중추신경계의 질환이나 기능장애를 진단하여 왔다. 그러나, 기초가 되는 본질적인 과정을 이해하지 못한다면 뇌파 판독에 있어서 지나치게 과대 또는 과소 평가하거나 잘못 이해할 수 있을 위험이 있다. 본 종설에서는 뇌파의 발생 기전과 이상 뇌파 소견의 병태생리학적인 측면에 대해서 고찰하고, 뇌파 판독의 문제점과해결책을제시하고자 한다.

정상 뇌파의생리학적 발생 기전

1. 뇌파의근원 (Source of EEG potentials)

신경세포의막을통한이온의 흐름은전위차를유발하고 이는 세포 밖에서 전류의 흐름을 야기시킨다. 대뇌에는 약 10^{10-12}개의신경세포(neuron)와 이의 다섯배 정도의 교세포(glial cell)가 존재한다. 하나의 신경세포는 약 1000개 정도의 시냅스를 형성하고 있어 시냅스의 수는 수 조 개에 이른다. 피질의 피라미드세포는 피질 안에서 약 100~300개 정도가 수직으로 배열을 이루어 컬럼을 형성하며, 서로 간에 수직으로 많은 연결을 하고 있어 빠른 정보를 교환하는 특징적인 기능적인 단위를 형성한다. 대뇌피질 제 2층과 4층에서 주로 정보를 받아들이고, 5층의 피라미드 세포에서원심성신호를내보내게된다.[4]

자발적으로 진동하는박동세포(pacemaker cell)인 시상의 신경세포로부터 시상 - 피질 입력 신호가 피라미드 세포의 선단 수상돌기(apical dendrite)에 연결이 되어 흥분성 전위를 발생시키면, 대뇌피질의 표층부에는 음전하를, 좀 더 심층부인 기저 수상돌기(basal dendrite)에는 양전하가 형성되어 피라미드 세포는 하나의 양극체(dipole)가 되고, 양극의 전위 차에의해전류가 흐르게된다. 전류의 방향은 세포 내에서는 수상돌기에서 세포체 쪽으로 향하고, 세포 밖에서는 역으로 세포체(current source)에서 수상돌기 쪽(current sink)으로 향한다. 세포 내에 위치한 미세 전극은 한 세포의 전기활성만을 측정하지만, 세포 밖에 위치한 전극은 주변의 많은 세포들로부터 발생하는 세포 밖 전위의 선형적인 합계를 측정할 수 있는데, 이를 field potential이라고 한다.

하나의 시상세포는 동시에 수 천 개의 피질세포와 접합을 이루어 신경세포들의 특이한 공간적, 시간적 특성에 의해 동기화가 일어나며, 기능적으로 하나의 거시적인 양극체를 형성한다. 시냅스에서 형성되는 전위는 진폭은 비교적 작지만 반응 기간이 길며 불응기가 없어 여러 시냅스에서 형성되는 흥분성과 억제성 시냅스 후 전위들이 시공간적 합산(temporal and spatial summation)이 가능하게 되고, 일정한 수 이상의 신경세포들이 동기화될 때 두피에서 측정 가능한 field potential이 형성되며, 이것이 뇌파의 주된 소스가 된다.[5-7] 탈분극과 재분극의 순환이 연속적으로 일어나면서, 뇌파는 특유의 파동 형태의 연속적인 파형이 형성된다. 일반적으로 뇌파가 두피에서 검출이 되기 위해서는 적어도 6 cm^2 이상의 동기화 피질 영역이 있어야 한다.

활동전위는 소디움 이온의 빠른 세포 내 유입으로 발생하게 되며, 반응 시간이 짧아(<2 msec) 서로 위상깍임(phase cancellation)이 일어나고, 세포 외 체액이 고주파 통과 여과기 역할을 하여 진폭이 감쇄함으로써, 두피에서 측정되는 뇌파에는 기여하지 않는다. 그러나, 간질성 발작과같은짧은시간내에많은수의신경세포들이 동시에활동전위를 일으키는 상황에서 비교적 큰 체적이 동시에 활성화되는 경우에는 두피에서 검출이 가능하게 된다. Ebersole은 간질간 발작파는약 20 cm^2 나그 이상의 피질 영역이 활성화 되어야 검출이 가능한 경우도 있다고 보고하였다.[5]

시냅스 전위가 뇌파에서 측정되는 전위의 주요 원천(source)이기는 하나, 최근에 시냅스와 연관이 없는 상대적으로 느린 막전위들이 발견되면서, 이런 비시냅스성 막전위들이 국소적인field potenital에 기여할 것으로 생각된다. 비시냅스성 전위로는 수상돌기에서발생하는전압의존성 칼슘성 극파와 전압의존성 세포자체의 진동 (Voltage - dependent intrinsic oscillation), 칼슘 매개성 후과분극, 그리고 gap junction을 통한 neuron - glia communication 등이있다.[6]

2. 양극자 소스의 물리적 특성

일반적으로뇌파 발생의 소스는파형이검출되는전극의 직하방에 위치한다고 생각할 수 있으나, 반드시 그런 것은 아니기 때문에 주의를 요한다. 두피에서 검출되는 전위장(voltage field)은 여러 소스들의 선형적인 합에 의해서 결정된다. 활성화된 신경세포 집단은 진동하는 양극자들의 집합이라고 가정할 수 있으며, 이들의 중앙에 위치하여 물리적 특성을 대표하는 한 개의 기능적인 양극자를 생각할

수 있는데, 이를 등가양극자소스(equivalent dipole source)라고 한다. 이의 물리적 특성을 이해해야만 대뇌피질에서 발생하는 전류의 흐름이 어떻게 두피에서 표현되는지 추정할 수 있을 것이다. 등가양극자소스는 소스의 뇌에서의 3차원적 위치, 방향, 면적 등의 물리적 요소들을 가지고기술할수있다. [7]

양극자의방향이 대뇌피질의표면에 방사상으로위치하는 경우를 radial source라고 하며, 두피에서 검출되는 전위의 크기는 양극자가 위치하는 바로 상부의 전극이 최대의 전위를 기록하게 된다(Fig. 1A). 양극자의 방향이 대뇌피질 표면에 접선 방향이 경우(tangential source)에는 양극자의 상방에 위치한 전극은 전혀 전위가 기록되지 않게 된다(Fig. 1C). 양극자의 방향이 사선으로 기울어져 있게 되면 직상방에 위치한 전극은 중간 정도의 진폭을 갖게 될 것이다(Fig. 1B).[5] 즉, 체적 전도체(volume conductor) 내의 한 지점에서 양극자의 전위 크기는 측정 지점(뇌파 전극)에서 양극자를 바라보는 각도에 비례하고, 측정된 전위의 극성은 측정 전극이 바라보고 있는 양극자 표면의 전기적신호와일치한다(solid angle principle).

또 한 가지 주목할 것은, 간질파의 경우 보통 최대 음전위만을 고려하게 되나, 뇌파 발생의 소스가 양극자이므로 반드시 반대 방향에 양전위를 형성하게 된다. 그런데, 음극의 방향이 피질의 표면에 위치하고 양극은 피질의 심부에 위치함으로써 양의 전위는 반대쪽 반구에서 약하게 나타나거나 검출되지 않게 된다. 양성 롤란딕 간질에서 특징적으로 보이는 롤란딕 간질파는 tangential source가 중심구의 하방, 실비안 구 근처에 위치하여 중심 측두엽에서는 최대 음전위를, 동측 전두엽에서는 약한 양전위를 나타내는 특징적인 뇌파소견을보인다. [8]

3. 뇌파의 율동성(Rhythmicity of EEG)

뇌파의 율동(rhythm)은 유사한 모양과 기간을 가진 파형이 규칙적으로 나타나는 것으로 정의할 수 있다. 뇌파는 끝임 없이 변화하는 주파수를 가지는 율동성을 보이며, 이러한율동성은 피검자의각성 상태, 집중 상태나 행동 상태와 비교적 잘일치한다. 뇌파의 궁극적인 발생원은 대뇌피질 그 자체이지만(voltage generator), 피질에서 발생하는 뇌파의 전반적인 리듬은 뇌간 및 기저 전뇌(basal fore-brain)로부터 광범위한 콜린성 투사섬유에 의해서 영향을 받는다(rhythm generator).[9]

뇌파의 율동성이 어떤 기능을 수행하는지 잘 모르나, 뇌의 서로 다른 지역간의 네트워크를 조율하는 기능을 한다는 주장과[10] 특정한 기능이 있기 보다는 단지 뇌 기능의 수행에 있어서 불가피하게 발생하는 부산물 내지는 소음이라는 두 견해가 있다. 어떤 가설이 맞던 간에 우리는 뇌파

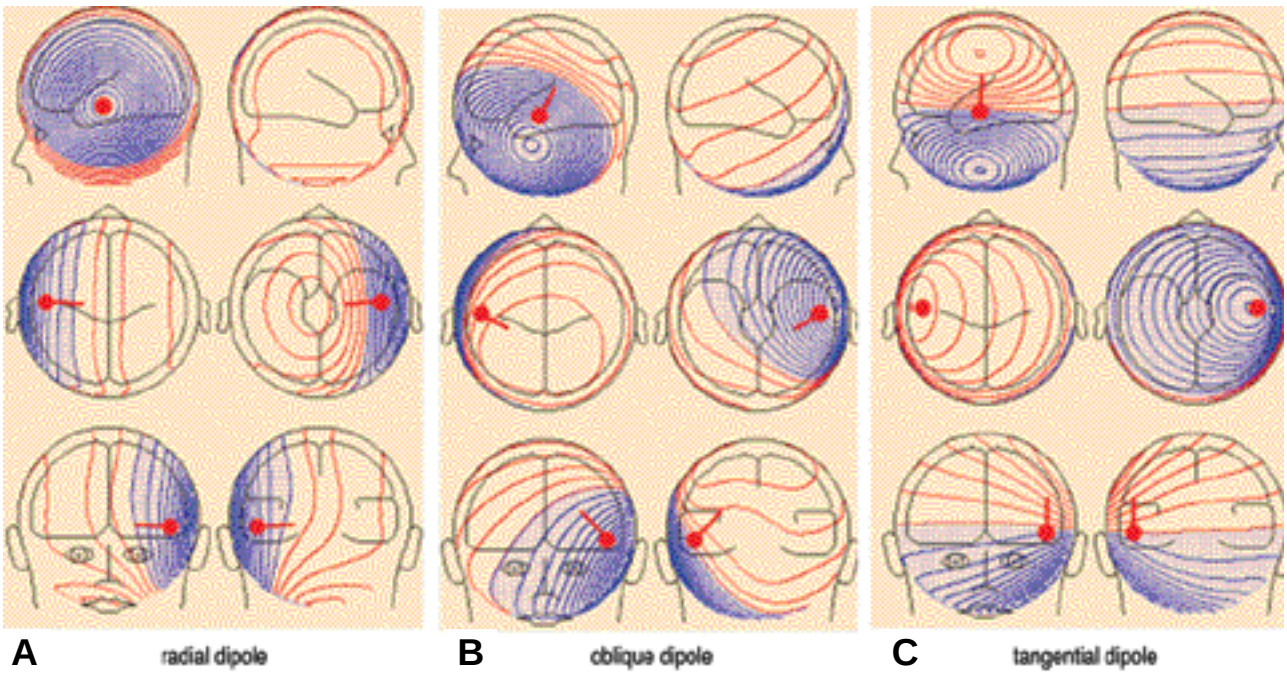

Figure 1. Simulation model of dipole source representing relationship between orientation of dipole source and scalp potential field. Suppose there is a fixed dipole source in left middle temporal gyrus, depicted as a dot indicating negative polarity (blue) and a rod indicating positive polarity (red). In case of radial orientation of a dipole source (**A**), the maximal negativity of electrical potential is recorded directly above the source. In case of tangential orientation (**C**), the electrode picking up maximal negative voltage potentials should be inferobasal electrode, such as sphenoidal or T9 electrode rather than midtemporal one. Note maximal positive potential can record in vertex area at a time. As the orientation of dipole source is oblique to anterior aspect (**C**), inferior frontal and anterior temporal area show maximal negativity.

율동의 변화를통하여 뇌기능의 상태를유추할 수있고이를 이용하여 임상에서 진단 및 환자 감시에 유용하게 활용하고있다.

1) 동기화(synchronization)와 비동기화(desynchronization)

시상이나 신피질의 신경세포들은 하나의 세포로 분리시켜 놓았을 때, 대체로 1~20 Hz의 주파수로 진동하는 고유의 전기생리학적인 성질을 보인다. 온전한 뇌(whole brain)에서는 개별 세포들의 고유 성질은 개개의 요소들을 하나의 집단(neuronal ensemble)으로 만드는 신경망(neuronal networks)에 의한 구동력(driving force)에 의해서 조절을 받게된다. 많은수의 신경세포가 동시에 활성화되어 시냅스 전위의 합산이 커지게 되면, 저주파의 고진폭 뇌파 리듬이 관찰되는데, 이를 동기화라고 한다. 이런 동기화 현상은 다수의 분산된 집단간의 상호 작용에 의하여 발생할 수도 있으며(distributed system), 수면방추의 예와 같이하나의박동기(pacemaker)에의해서발생할수도있다.[10]

동기화된리듬이저진폭의빠른 주파수로 대체되는 것을 비동기화라고 한다. 서파 수면이나 수면방추에서 보이는 동기화된 리듬은 렘수면기나 각성기에 차단이 되며 뇌파는 비동기 상태를 보이게 되는데, 뇌간과 기저 전뇌(basal forebrain)에서 뇌를 활성화하는 망상활성체가 중요한 역할을 한다.

2) 알파리듬(alpha rhythm)

알파리듬은 고유명사로 대략 8~13 Hz의 주파수를 가지면서 주로 후두부에서 각성 시에 눈을 감고 아무런 생각을 하지 않고 있을 때 잘 나타나고, 눈을 뜨면 소실되는 특징을 보인다. 알파리듬은 주로 피질 - 피질 경로(cortico - cortical pathway)를 따라서 발생하고 분포되는 것으로 알려져있는데그증거는다음과 같다.

동물실험에서 시피질(visual cortex)에전극을삽입하고 뇌파를 측정하면, 사람의 알파리듬과 유사한 알파파가 기록되며, 이 알파리듬의 등가양극자(equivalent dipole)는 제4 - 5피질에 위치해 있다. 이때, 비교적 작은피질 영역이 진원지(epicenter)로 작용하여 알파리듬이 발생되어, 여러 다른 피질 영역으로 전파되어 감이 실험적으로 증명이 되었다. 또한, 피질 - 시상보다는 피질 - 피질 사이의 상관성(coherence)이 더 높게 측정이 된다는 점이 알파리듬은 피질 - 피질 신경망들에 의해서 생성되는 것으로 이해되고 있다.[11]

3) 수면방추(sleep spindles)

수면방추는 수면 시에 7~14 Hz의 주파수의 파가 기복을 보이면서 약 1.5~2초 길이로 0.1~0.2 Hz의 느린 주기로 나타나는 파이다. 수면방추는 시상의 망상핵(reticular thalamic nucleus, RE)에서 발생되어, 시상 - 피질 투사섬유를통해서 대뇌 피질에나타난다. RE는 GABA 신경세포로 구성되어 있으며, 이 세포들은 서서히 증가하고 감소하는 서파 위에 빠른 극파가 첨가된 활성을 나타내는데, RE는 시상 - 피질세포(thalamocortical neuron, TC)를 억제하고 억제된 TC에서는 오래 지속되는 과분극이 일어나면서 간헐적으로 반동되는 극파(rebound spike burst)가 나타나게 된다. 이 극파가피질세포에서 흥분성 시냅스 후 전위를 일으켜 수면방추의 주파수 범위를 가지는 파를 형성하게된다.[12]

4) 깊은수면시의서파(slow waves of deep sleep)

정상적으로 난렘수면(non - REM sleep)의 제3 - 4단계에 고진폭의 불규칙적이거나 반규칙적인 델타파가 나타나는데, 이는 주기적으로 동기화되는 시상 - 피질세포로부터 피질세포로의 입력에 의해 유발되는 것으로 설명하고 있다. 시상의 주기적 동기화는 깊은 수면 시에 뇌간으로부터 시상으로의 억제성 신호가 감소하게 되고, TC세포는 억제성인 RE과의상호작용에의해 델타파범위의주기적인진동을유지하게됨으로써이루어 진다.[12]

비정상뇌파의 병태생리학적 발생기전

뇌파는 모양에 따라서 간질성 이상(epileptiform abnormality)과 비간질성 이상(non - epileptiform abnormality)으로 나눌 수 있으며, 전위의 분포에 따라서는 국소성(regional), 전반적(generalized) 이상으로나눌수 있다.

1. 국소성 간질양 뇌파 (regional epileptiform discharges)

정상인의1% 미만에서만간질양 뇌파(이하간질파로약함)가 나타날 수 있으므로 간질파는 간질의 진단에 있어서 중요한 소견 중의하나이다. 간질 초점은 일정한범위 내에서 흥분성이 증가된 피질세포들이 특이한 연결망을 형성하고 있으며, 주변으로는 비교적 정상적인 신경세포들의 억제성주변부를형성하고있다.[13]

두피에서 측정되는 간질파를 동시에 세포 내에서 직접 측정하면, 갑작스런 고진폭(20~40 mV)의 탈분극이 50~200 msec 정도 지속되고, 비교적 제한된 범위 내에서 피질세포들의 반복적인 활동전위가 이런 느린 탈분극전위(slow action potential)에 겹쳐지고, 이어서 1~2초 정도 지속되는 과분극이 뒤따라 나타나는 현상을 관찰할 수 있는데, 이런 일련의과정을paroxysmal depolarization shift (PDS)라고 한다. 간질파의 고진폭의 뾰족부는 느린 탈분극전위에 점철된 반복적인 과분극에 의해서, 그리고 발작파후의서파는PDS 후기의 과분극과 연관이있다.[14]

2. 전반적인간질양뇌파 (generalized epileptiform discharges)

압상스간질(absence epilepsy)은 특징적인 3 Hz 극 - 서파 복합체(spike and wave complex, SWC)를 보이는 전반적인 간질파의 대표적인 예로 동물 모델의 개발로 병태생리학적 연구가 비교적 활발히 이루어져 왔다. 기본적인 기전은 시상피질 회로를 포함한 신경망에서 이상 율동(aberrant thalamocortical rhythm)을 발생하는 것으로 이해되고 있다.[15] TC세포는 T - type calcium channel을 가지고 있으며, TC 및 RE의 상호억제 작용에 의하여 TC 세포에 자율적인 진동이 발생하게 되는데, 이 RE - TC - cortical neuron의 회로에 이상에 의해서 3 Hz SWC가 발생한다. 이때, 극파 성분은 피질세포의 과동기화된 EPSP에 의해서 피질세포에 고진폭의 활동전위가 유발되어 나타나게 되며, 고진폭의 활동전위는 피질세포에 억제성 경로를 활성화시켜 200~300 msec의 지속 시간을 갖는 과분극을 유발시켜서 서파를 생성한다. 이러한 순환에 의해서 SWC는 뇌파상 약 3~5 Hz(한 주기가 200~300 msec을 가지므로)의주파수를나타내게된다.

3. 국소성 서파 (regional slow waves)

국소성 서파는 대뇌의 일부 지역의 구조적인 병변이나 기능장애에 의해서 나타날 수 있다. 고전적인 동물실험에 의하면, 고양이 뇌간의 하부를 절단하여도 뇌파는 정상적인 소견을 보였다. 피질은 뇌파의 voltage generator이므로, 순수한피질성 병변은 서파를 유발하는대신 피질 활동(cortical activity)의 소실로 베타파가 감소하거나 뇌파의 진폭이 줄어든다.[1] 피질하 백질의 국소적인 병변은 불규칙한 델타파를유발할 수 있으며, 국소적인 시상의 병변은 국소적인 또는편측 서파를나타나게 한다. 피질 하부구조에서의 장애가 두피 뇌파에서 서파를 일으키는 기전은 피질하부 구조에서 피질로의 신호가 차단되는 cortical deafferentation으로 설명하고 있다.

한편, 시상핵(TC)은 자율적인 1~2 Hz의 율동성을 가지

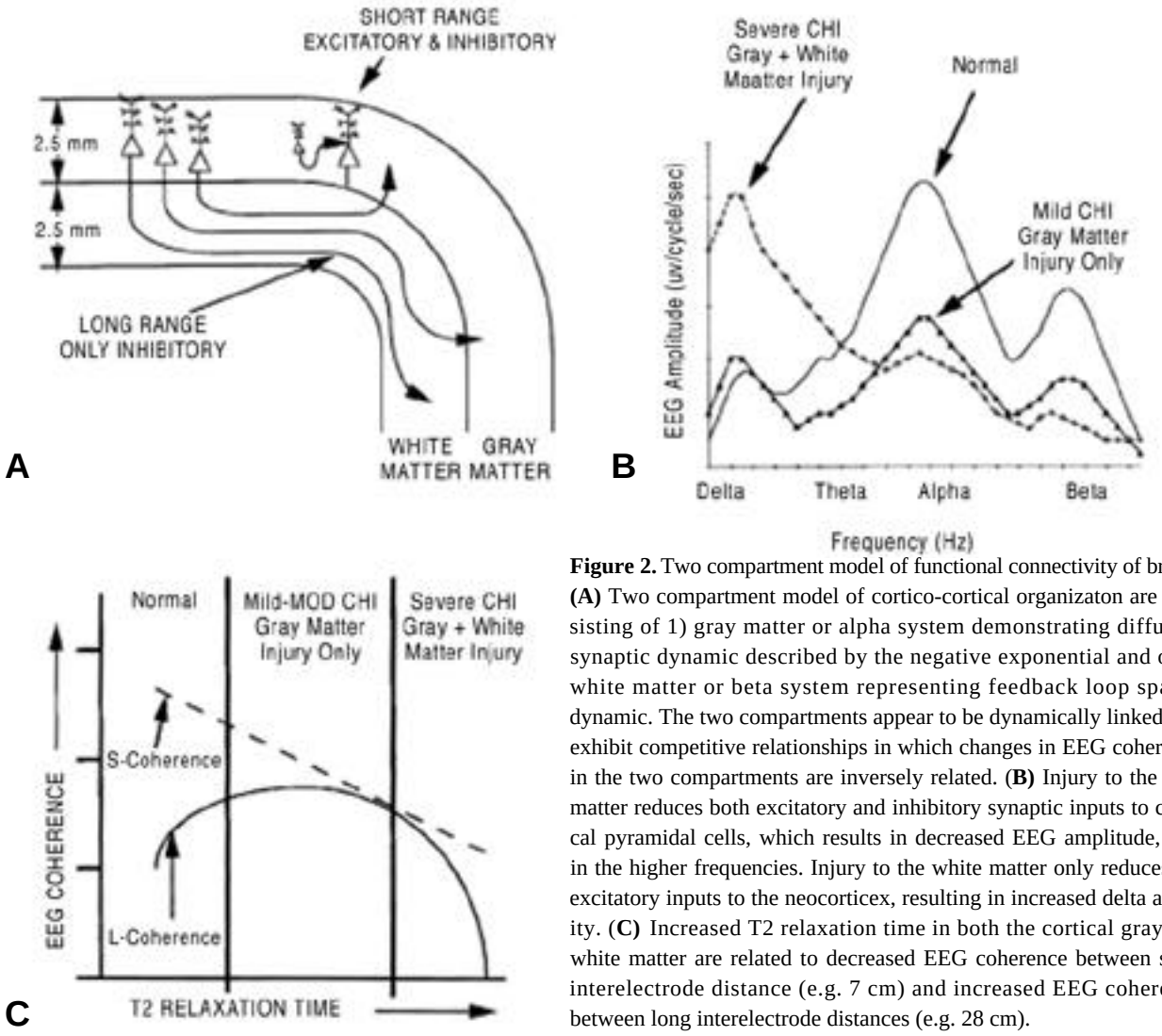

Figure 2. Two compartment model of functional connectivity of brain. **(A)** Two compartment model of cortico-cortical organizaton are consisting of 1) gray matter or alpha system demonstrating diffusive synaptic dynamic described by the negative exponential and of 2) white matter or beta system representing feedback loop spatial dynamic. The two compartments appear to be dynamically linked and exhibit competitive relationships in which changes in EEG coherence in the two compartments are inversely related. (**B)** Injury to the gray matter reduces both excitatory and inhibitory synaptic inputs to cortical pyramidal cells, which results in decreased EEG amplitude, esp. in the higher frequencies. Injury to the white matter only reduces the excitatory inputs to the neocorticex, resulting in increased delta activity. (**C)** Increased T2 relaxation time in both the cortical gray and white matter are related to decreased EEG coherence between short interelectrode distance (e.g. 7 cm) and increased EEG coherence between long interelectrode distances (e.g. 28 cm).

고 있는데, 정상적인 경우(특히 각성기)에서는 피질 - 시상 입력에 의해서 이런 시상의 자율적인 활동이 나타나지 않는다. 그러나, 피질세포가 손상되거나 피질에서 시상으로의 입력이 차단된 경우에는 자율적으로 진동하는 시상의 활동이 피질로 전달되어 서파가 나타난다는 실험 결과[16]는 서파가 thalamic deafferentation에 의하여 발생한다고도 볼수있다.

Thatcher 등[17-19]은 피질 - 피질 연결 조직의 기능적 단위를 회백질 내의 비교적 짧은 거리(수 mm에서 cm)의 국소적 상호 작용을 관여하는 축삭으로 구성된 회백질 시스템과회백질을빠져 나와백질을거쳐비교적 먼거리를 연결하는 백질 시스템으로 구분하는 two compartment model을 제안하였다(Fig. 2). 이 들은 폐쇄성 뇌외상 환자에서 뇌파의 진폭과 상관도(coherence)를 MRI의 T2 relaxation time과의 상관 관계를 비교하였는데, 회백질만 손상된 경우에는 주로 알파파의 진폭이 감소하고 짧은 거리(7 cm이내) 사이에서의 상관도가 감소하였으며, 회백질과 백질이 같이 손상된 경우에는 델타파가 증가하고 짧은 거리의 상관도뿐만 아니라 먼 거리(28 cm) 사이의 상관도가 급격히 감소된다고 하였다. 이런 사실들로 미루어 볼 때, 서파는 백질이나 피질 자체도 중요하지만, 서로 간의 상호 연관 관계에 장애가 있을 때 나타날 수 있음을 보여 주고 있다.

4. 전신성서파(generalized slow waves)

대뇌 전체에 걸친 미만성의 서파는 다양한 원인에 의한 미만성 뇌증이나 양측성의 심한 회백질과 백질을 포함하는 병변인경우에 보일 수있다. 일반적으로다형성 델타파(polymorphic delta activity)는 피질 - 피질간 또는 피질 - 시상간의 관계 장애에 의해서 발생하는 것으로 이해되고 있으며, 전신성의 단형성 서파(generalized monomorphic activity)는 아주 심한 대뇌 피질 장애에 의한 피질하 구조에서발생하는 것으로알려지고있다.[1]

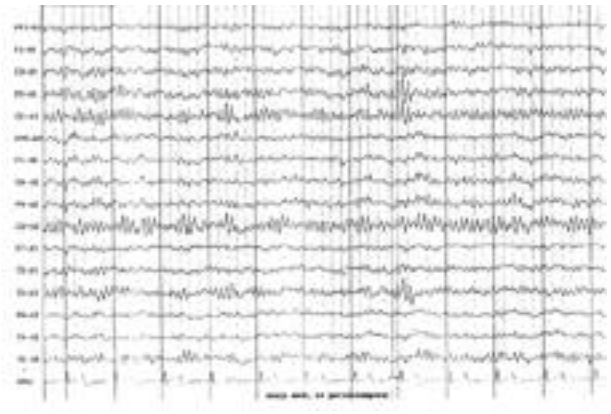

Figure 3. Incorrect interpretation of routine EEG. This EEG is recorded and interpreted as sharp waves (arrow) at left parieto-temporal region in a local neurology clinic. However, when you look into sharp-looking waves indicated by arrow, the rhythmicity, shape and continuity of the underlying background activities are not interrupted. There are no after-going slow waves that occur typically after sharp waves. Thus, these waves are accentuated underlying background rhythms during a little drowsy state, not sharp waves.

뇌파의판독(interpretation of routine EEG)

1. 정상, 비정상 뇌파

임상에서 뇌파를 사용할 때 가장 중요한 것은 정상 뇌파와 비정상 뇌파의구분이다. 이를 위하여는먼저정상 뇌파를 많이 보고, 정상인에서 기록될 수 있는 여러 가지 정상 뇌파의 변동(variation)을 잘 기억하고 있어야 한다. 최근 간질의 치료가 많이 발전하고 간질 병소의 국소화에 관심이 높아졌지만 아직도 국내의 뇌파 교육은 많이 낙후되어 있다. 이는 뇌파의 체계적인 교육 프로그램이 매우 부족하고, 전공의 과정 중에 뇌파를 배울 수 있는 시간적인 한계 때문이다. 미국 등 선진국에서도 신경과 전공의 과정에는 뇌파에 대하여 기초적인 훈련만을 받고 뇌파를 전문적으로 판독하고 임상에 적용하고자 하는 사람들은 전공의 과정 후에 뇌파 전임의 과정을 수료하고 있다. 또한 미국의 뇌파전문의 시험을 보기 위하여는 전임의 과정에 적어도 1,000개 이상의 뇌파를자격 있는 뇌파교육자의 감독하에 판독한 실적이 있어야 한다. 우리나라에서도 뇌파를 스스로 판독하고 싶은 사람은 뇌파의 체계적인 교육 프로그램에서전임의과정을이수할것을추천한다.

일례로 한신경과의원에서 3달 전에 중학생 여자 환자가 의뢰되었다. 2002년 8월 하순부터 주변이 흔들거리는 어지러움을 느끼고, 명치가 답답하고 찌르는 듯한 느낌이 들다가 주저앉아서 옆으로 쓰러진 후 의식을 잃고 오른쪽 팔을 떠는 경련이 하루에 1~2회 발생한다고 하였다. 신경과 의원에서 실시한 뇌파검사 결과 왼쪽 두정 - 측두 - 후두엽 부위(left parieto - temporal region)에sharp waves (Fig. 3)가 기록되어 간질발작으로 진단하고, 항경련제를 투여하였으나 발작의 빈도는 점점 증가하여 하루에 한 번이상으로 발생하여 여러 가지 항경련제(Orfil, Tegretol, Topamax)를 추가, 교체 등 하였으나 변화가 별로 없었다. 환자가 갖고 온 뇌파를 재판독한 결과 간질파로 생각되었던 뇌파는 배경 리듬(background rhythm)을 별로 손상하지 않고, 간질파후에 따라오는 서파도 없는 환자의 알파리듬이 순간적으로 좀 크게 기록된 것이 간질파로 오인된 것이었다. 자세한문진 결과 환자는 발작을 시작할 때 대부분 숨을 몰아 쉬고 수 차례 넘어졌지만 한 번도 다친 적이 없었다고 하였다. 또한 환자는 매우 태연하여 보였다. 최근에 태권도 사범인 아버지가 환자에게 태권도를 매일 시키고 있다고 하였다. 심인성 발작(psychogenic seizure)의 가능

성을 배제하기 위하여 비디오 - 뇌파검사를 하였다. 2일 동안 기록한 비디오 - 뇌파검사에서 간질파는 전혀 발견되지 않았고, 약물을 모두 중단하였으나 발작도 발생하지 않았다. 단지왼쪽 다리가 저리다는 느낌만 있었고 이때 뇌파의 변화는 없었다. 식염수 유발(Saline induction)에 의하여 심인성 발작이 유발되지는 않았지만 문진의 내용과 뇌파가 정상임을 감안하여 심인성 발작으로 진단하고 모든 약물을 중단한 후 관찰하였으나 아직까지 발작이 다시 발생하지 않았다. 이렇듯 뇌파의 정확한 판독은 환자의 진료에 있어서매우중요하다.

두 번째 환자는 47세 여자 환자로 간헐적으로 몸이 붕뜨는 느낌과 비틀거림을 주소로 종합병원 신경과에서 뇌파검사 중에 분명한 발작파(ictal EEG discharges)가 기록되어(Fig. 4) 간질로 진단을 받은후 머리가 띵하고 혼란스러운 느낌이 하루에도 몇 회씩 발생하여 의뢰되었다. 하지만 재판독 결과 검사 중에 환자가 머리를 움직이면서 발생한 움직임 잡음(movement artifact)로 판명되었고, 다시 실시한 뇌파검사에서도 이상 뇌파는 발견되지 않았다. 역시 가성발작(pseudoseizure)로진단되었다.

물론 뇌파가 정상이라고 해서 간질이 아니라고 할 수는 없다. 하지만 위의 두 경우와 같이 간질성 발작(epileptic seizures)인지 비간질성 발작(non - epileptic seizures)인지불명확할때뇌파검사는매우중요한역할을하게된다.

이상 뇌파(abnormal EEG)는 크게 간질양 이상 뇌파(epileptiform abnormal discharges)와 비간질양 이상 뇌파(non - epileptiform abnormal discharge)로 나뉘다. 여기에서 비간질양 이상 뇌파는 간질 이외의 많은 뇌질환(뇌졸중, 뇌종양, 치매 등)에서 기록될 수 있다. 그러나, 많은 의사들은 아직도 뇌파에 이상이 있으면 간질로 잘못 생각하는 경향이 있다. 따라서, 뇌파에 이상이 있을 경우 이것이 간질양 뇌파인지 비간질양 뇌파인지를 구별하는 것도 중요하다. 또한 간질양 뇌파는 간질이 아닌 사람에서도 드물게 기록될 수 있다. 따라서, 간질양 뇌파가 기록되어도 임상적으로 간질발작이 없으면 간질로 진단해서는 안되며 항경련제를 투여해서도 안 된다. 반대로 간질발작을 빈번하게 하는 환자에서 여러 번 시행한 뇌파가 모두 정상이면 비간질성 발작의가능성을의심하여야 한다.

나이에 따라서 정상 뇌파의 모양은 크게 변화하며, 같은 나이에서도 정상 뇌파의 모양에는 많은 변동(variation)이 있다. 특히 졸릴 때나 수면 중에는 개인간의 변이가 더욱 심하다. 정상인의 뇌파에서 매우 드물게 나타난다고 하여 비정상은 아니다. 예를 들어서 양성 가성 - 간질양 뇌파(benign pseudoepileptiform discharges)는 정상인에서 드물게 기록되어도 이상 뇌파로 보지 않는다. 심전도는 정상적으로 보이는 P, QRS, T파가 항상 기록되므로 이들 파형의 모양과 리듬을 보고 정상 심전도임을 판정하지만 뇌파는 이와는 다르다. 정상적으로 뇌파에서 기록될 수 있는 파들이 항상 나타나는 것이 아니다. 따라서, 정상적인 뇌파 형태를 나열하면서 정상 뇌파를 정의하기는 어렵다. 뇌파의 정상 형태에는 많은 변동이 있지만 비정상 뇌파의 형태는 몇 가지(spikes, sharp waves, 국소적인 slow waves, 진동수와진폭의변화 등)로한정적이다. 그러므로, 비정상적인 현상이 없다는 식으로 정상 뇌파를 정의하는 것이 더 효과적이다. 이를 위하여 뇌파를 판독하는 사람은 정상적

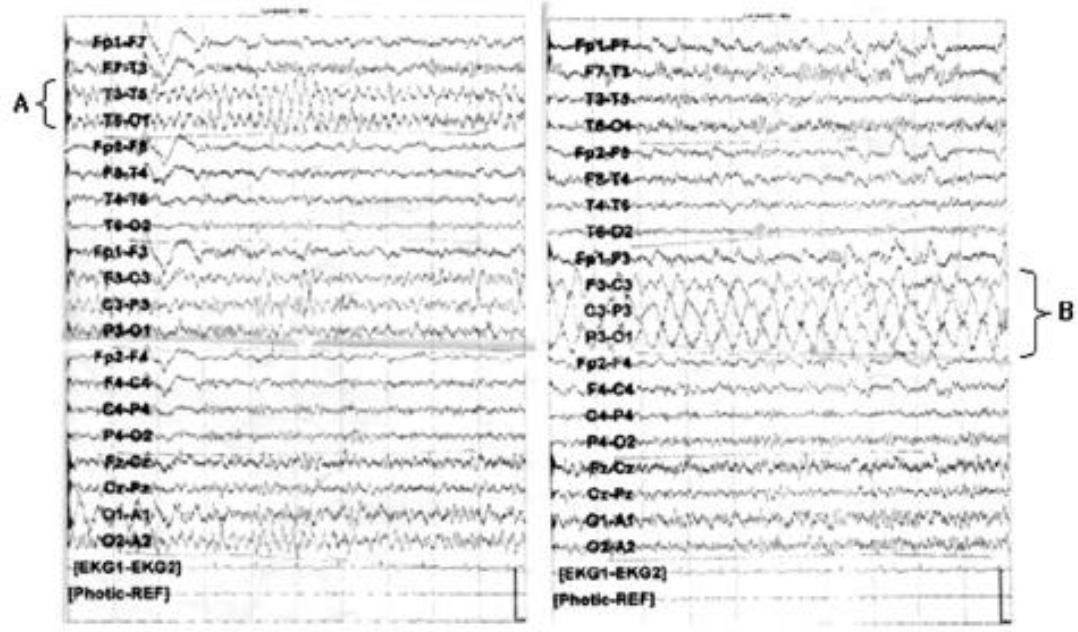

Figure 4. Incorrect interpretation of routine EEG. This EEG is interpreted as seizure discharges ({) during routine EEG recording in Neurology department of general hospital.“ A ”of left EEG tracing shows rhythmic EEG discharges with phase reversal at T5, but there were no electrical fields of“ A ”at adjacent electrodes (F7-T5, P3-O1).“ B ”of right EEG tracing shows rhythmic EEG discharges with phase reversal at P3 and C3 (double phase reversal), but there are no electrical field of“ B ”at adjacent electrodes (T5-O1). Paroxysmal EEG discharges recorded at only one scalp electrode and double phase reversal are usually artifacts. The rhythmic EEG discharges in this patient are produced by rhythmic head movement with hyperventilation during routine EEG recording.

인 뇌파 형태를 잘 알고 있어야 하며, 비정상적인 뇌파의 정의를 알고 이를 정확하게 인지할 수 있는 능력을 쌓아야 한다.

정상 뇌파라고 해서 항상 뇌기능이 정상이라는 뜻은 아니다. 뇌의 병변이 작거나 조금 커도 오래 된 경우에는 뇌파가 정상으로 나올 수 있다. 예를 들면 속섬유막(internal capsule)의 작은 뇌경색은 심한 편마비를 야기하지만 뇌파는 대개 정상이다. 대뇌피질을 포함하는 비교적 큰 뇌경색도 몇 달이 지나면 신경학적 결손은 지속되어도 뇌파의 이상이 없어질 수 있다. 뇌위축과 인지기능의 장애를 동반하는 알쯔하이머병과 같이 뇌전체를 침범하면서 서서히 진행하는 뇌질환의 경우도 오랜기간 뇌파가 정상일 수 있다. 간질에서도 뇌파를 기록하는 동안에 비정상적인 간질양 방전(epileptiform discharges)이 발생하지 않거나 발생하더라도 접면 쌍극자(tangential dipole) 형태를 띄거나 뇌의 깊숙한 곳에서 발생한다면 두피 뇌파에서 기록되지 않으므로 정상 뇌파로 나타날 수 있다.

2. 뇌파의 체계적인 분석 (systematic interpretation of EEG)

뇌파를 볼 때 항상 기본적으로 분석해야 하는 특성들이 있는데, 파형(waveform), 진동수(frequency), 진폭(amplitude), 분포(distribution), 리듬성(rhythmicity), 위상 관계(phase relation), 발생 시간(timing), 지속성 또는 양(persistence or amount) 및 반응성(reactivity)이다.[20] 이상의 9가지 특성에 대하여 뇌파를 판독하는 내내 분석하는 습관을 익혀야 한다. 이것이 체계적인 뇌파 분석이다. 단순한 진리로 보이지만 대부분의 의사들은 이 모든 것들을 확인하려 하지 않는다. 이를 습관화하기 위하여는 많은 수의 뇌파를 뇌파교육자의 지도하에 판독하여야 한다.

1) 파형(waveform)은 뇌파의 모양이다. 한 채널에서 두 전극 사이의 전위차에 변화가 발생하면 파(wave)가 그려진다. 이를 단순히 EEG activity라고 부르기도 한다. 파형은 regular rhythmic waves, sinusoidal waves, spindles, irregular arrhythmic waves, complexes, sharp waves, spikes, spike - and - waves, polyspikes, polyspike - and - wave 등으로 기술하며, 각각의 정의를 잘 기억하고 뇌파를 판독할 때 정확하게 사용하여야 한다. 간질양 뇌파(epileptiform discharges)의 뜻은 간질에서 특이하게 기록되는 파형을 의미하는데, 크게 파의 지속시간에 따라서 극파(spikes)와 예파(sharp waves)로 나뉜다. 임상적으로 이 둘의 차이는 불분명하다. 간질양 뇌파의 특징은 배경 리듬을 파괴하면서 갑작스럽게 기록되어야 하고, 모양이 판이해야 하며, 극파나 예파 바로 뒤에 서파가 따라 나오면 더 전형적이다. 또한 두피 뇌파의 경우 인접전극에서 전기장이 형성되어야 한다(Fig. 5).

예파와 비슷한 모양을 띠지만 배경 리듬의 일부로 생각되거나 시간적으로 배경 리듬의 일부 또는 단독으로 발생하지만 모양과 위치가 자주 변하거나 뇌파 전체에서 단 한 번만 기록된다면 간질양 뇌파로 볼 수 없으며 sharp transients로 분류하여야 한다(Fig. 6). 비정상적인 간질양 뇌파가 아닌 sharp transients를 간질양 뇌파로 판단하는 것이 뇌파 판독에서 가장 흔하게 범하는 잘못이다. 일단 간질

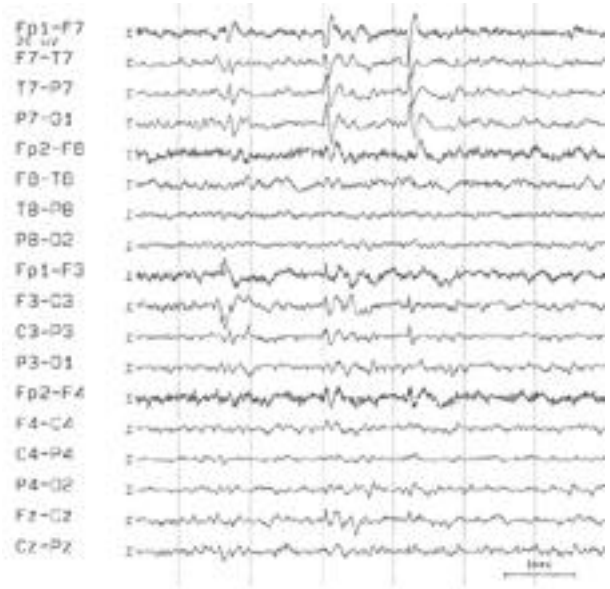

Figure 5. Sharp waves are recorded at left frontotemporal region with a phase reversal at F7 electrode. These sharp waves break down the underlying baseline EEG rhythms and are followed by slow waves.

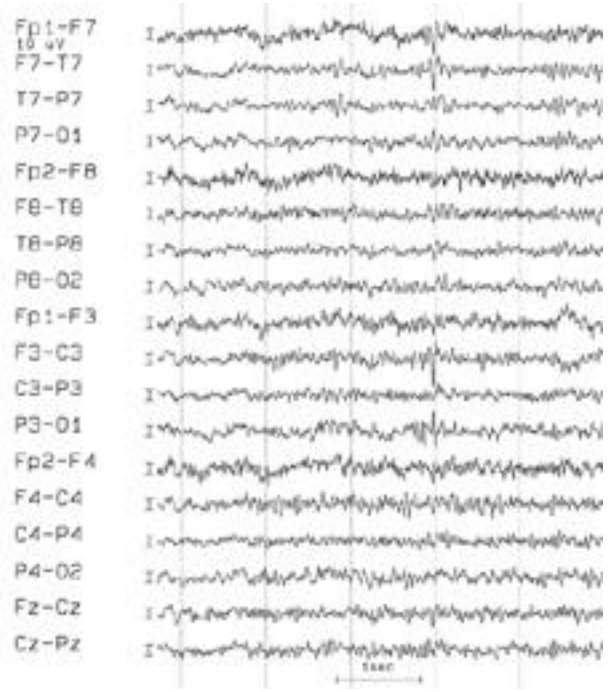

Figure 6. Sharp transient is recorded at left hemisphere (arrow). Although the indicated wave has relatively high amplitude with a sharp wave appearance, it does not break down the underlying baseline rhythm and is not followed by a slow wave.

양 뇌파로 판독이 되면 이는 간질성 발작(epileptic seizures)을 시사하므로 진단에 커다란 영향을 미치게 된다. 따라서, 간질양 파형의 결정은 매우 신중하여야 한다. 물론 간질양 뇌파가 기록되더라도 임상적으로 간질성 발작이 없다면간질이아니다.

발작성 방전(paroxysmal discharges)은 배경 리듬과 모양이나 진폭이 다른 파형이 갑자기 나타났다가 없어지는 것을 뜻하며, 정상 또는 비정상일 수 있다. 정상적으로는 졸릴 때 갑자기 발생하기도 하여 졸림 반응(drowsy response) 또는 양성 가성간질양 형태(benign pseudoepileptiform patterns)라고 부르는데 이것이 종종 비정상으로잘못판독되기도한다(Fig. 7).

2) 진동수(frequency)는 1초 동안 반복되는 파의 수이다. 예를 들어 1초에 3 cycles의 파가 반복된다면 3 Hz 파형 이라고 한다. 진동수는 1초 안에 반복되는 파를 세거나 1초를 개별 파의 길이(wavelength)로 나누어 구할 수 있다. 개별 파의 길이가 250 ms (0.25 sec)라면 진동수는 4 Hz가 된다. 진동수는 알파리듬의 판독에 매우 중요하다. "알파리듬(alpha rhythm)"이란 진동수가 alpha band (8~13 Hz)이고 각성 시 머리의 뒤쪽에서 발생하며 눈을 감고 긴장을 푼 상태로 아무 생각 없이 가만히 있을 때 가장 잘 나타나는 파이다. 따라서, 알파리듬은 위 정의를 만족하는 파에만 적용하여야 하는 고유명사이다. 기타 진동수가 알파 band에 들어가지만 위 정의를 만족하지 않는 파형은 알파 진동수의 파 또는 리듬(rhythms of alpha frequency)으로 표현하여야 한다. "알파리듬"을 posterior dominant rhythm 또는 occipital rhythm 등으로 기술하는 것은 적절하지 않다. 알파리듬이 나이에 비하여 느려진 경우는 비정상으로 background slow로 표현한다. 나이에 따른 알파리듬 진동수의 정상 범위가 다르다. 정상 어린이의 알파리듬은 만 1세가 되면 5~6 Hz가 되고, 만 3세가 되면 대부분 8Hz에 이른다.[21] 일반적으로 사용하는 알파리듬이 느려졌다고 판정하는 기준은 1세가 5 Hz 미만, 3세는 6 Hz 미만, 5세는 7 Hz 미만, 그리고 8세는 8 Hz 미만이다. 1358(나이)~5678(진동수)로 기억하면 수월하다. 하지만 조금이라도 졸린 상태에 빠지면 알파리듬의 진동수가 느려지기 때문에 환자가 깨어있고 각성상태(eye blinking, rapid eye movement, muscle artifact 등이 있고, 질문에 반응을 빠르게 하는 상태)인지를 확인한 후 알파 리듬의 진동수를 결정하여야 한다. 반면에 눈동자의 느린 움직임이 있고, 눈깜박임(eye blinking)과 근육 잡음 (muscle artifact)이 전혀없는뇌파에서는환자가졸린상태일가능성이 높으므로 알파리듬의 진동수를 쉽게 결정해서는 안된다. 즉, 뇌파를판독할 때 매 순간 환자의각성 - 수면상태(waking, drowsy, light sleep, deep sleep, REM sleep)를 정확하게 판단할수 있어야 뇌파 판독을 정확하게 할 수 있다. 그리고, 알파리듬의 진동수가 양쪽 반구에서 차이가 나는 경우가 있는데 1 Hz 이상 차이가 날 경우 느린 쪽 반구의이상을시사한다(Fig. 8).

3) 뇌파의 진폭(amplitude)은 μV 단위로 측정한다. 일반적으로 뇌파의 진폭은 low (under 20 μV), medium (20~70 μV), high (over 70 μV)로 분류하지만 개별 환자에 따라서 해석은 다르게 할 수 있다. 예를 들어서 바탕 뇌파 리듬의 진폭이 low인 경우에 medium 크기의 서파나

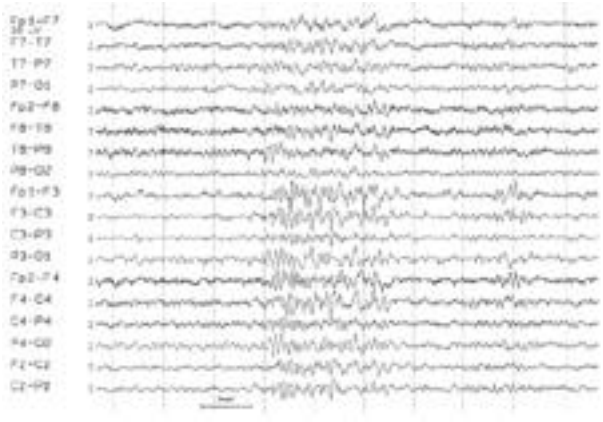

Figure 7. Drowsy response. There are slow eyeball movements and alpha rhythms are slow and poorly formed, and run on and off. This EEG features suggest that the patient is in drowsy state. Paroxysmal medium to high amplitude waves with mixed frequencies recorded diffusely with a parasagittal predominance. Although the shapes and patterns of these paroxysmal discharges are totally different from the underlying baseline rhythms and conspicuous, these waves are normal drowsy response, so-called benign pseudoepileptiform patterns. The paroxysmal drowsy responses should not be interpreted as abnormal discharges.

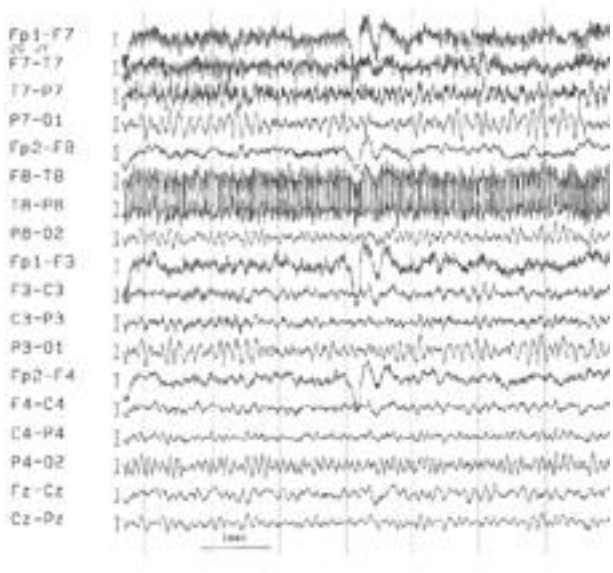

Figure 8. Asymmetry of alpha rhythm frequency. The alpha rhythm frequency of left occiput (7~7.5 Hz) is slower than that of right occiput (9~9.5 Hz). This EEG finding suggests abnormality of left cerebral hemisphere.

spike가 발생한다면 이는 내용적으로 high amplitude를 의미할 것이다. 또한 뇌파의 진폭은 연결된 두 전극의 거리에 따라서 변하는데 두 전극간의 거리가 길수록 진폭은 더 크게 기록되므로 진폭은 montage와 함께 기술하는 것을 추천한다. 두 전극의 거리가 같을 때 양쪽 반구에서 뇌파 진폭의 차이가 있으면 진폭이 작은 쪽 반구의 이상을 시사한다. 하지만 두개골 결손에 의한 breach rhythm은 오히려 진폭이 더 커지므로 판독시 주의가 필요하다. 많은 의사들이 longitudinal bipolar montage (double banana)에서 양쪽 반구의 알파 리듬의 진폭을 비교하는데 이는 잘못된 습관이다. Bipolar montage는서로근접해 있는두전극사이의 전위차를 그래프로 표시하는 것이므로 두 전극 모두에서 알파리듬의 진폭이 큰 경우 두 전극간의 전위차는 작게 기록될 수 있다. 예를 들면 P7 - O1 채널은 P7의 뇌파에서 O1의 뇌파를 뺀차이를 기록하게 되어양쪽 전극에서 알파리듬의 진폭이 크더라도 그 크기가 비슷하다면 뺀 결과는

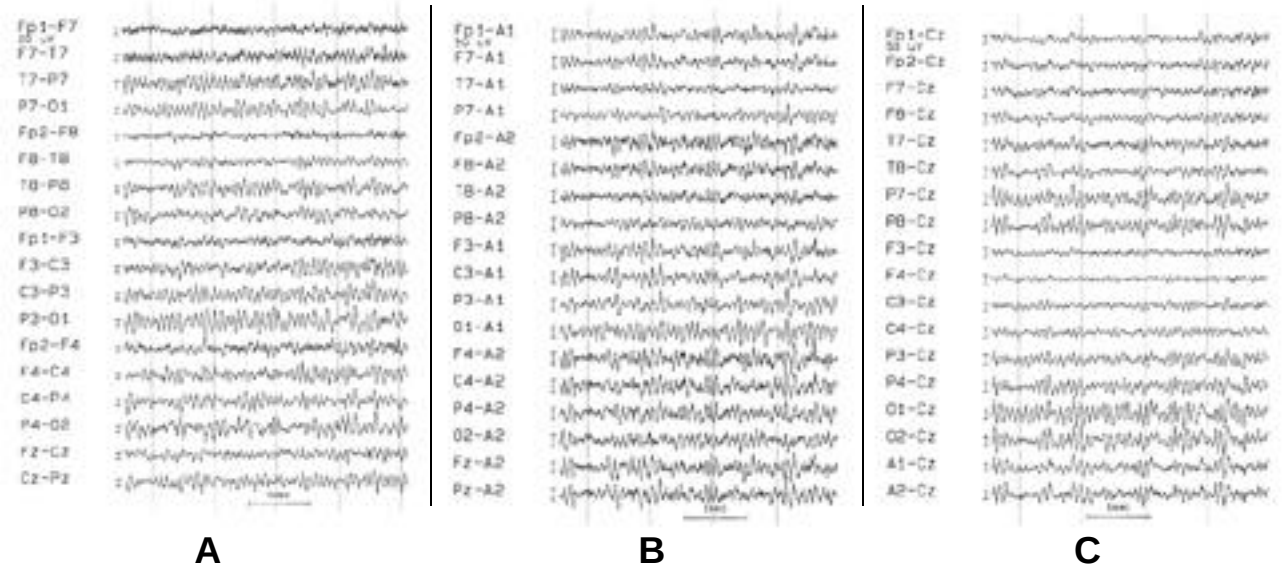

Figure 9. (**A**) Alpha rhythm is nicely recorded at both posterior head regions. However, bipolar montage shows only the amplitude difference of two electrodes (e.g., P7-O1, P8-O2), not the absolute amplitude of each electrode. Therefore, bipolar montage cannot compare the amplitudes of alpha rhythms between right and left hemispheres. (**B**) Ear reference (A1, A2) montage is contaminated by alpha rhythm because A1 and A2 electrodes are placed within the active field of alpha rhythm. Rhythmic activities recorded at both frontal electrodes are false rhythms produced by A1, A2 electrode contamination. (**C**) Cz reference montage shows alpha rhythm confined to both posterior head regions with little contamination at both frontal regions.

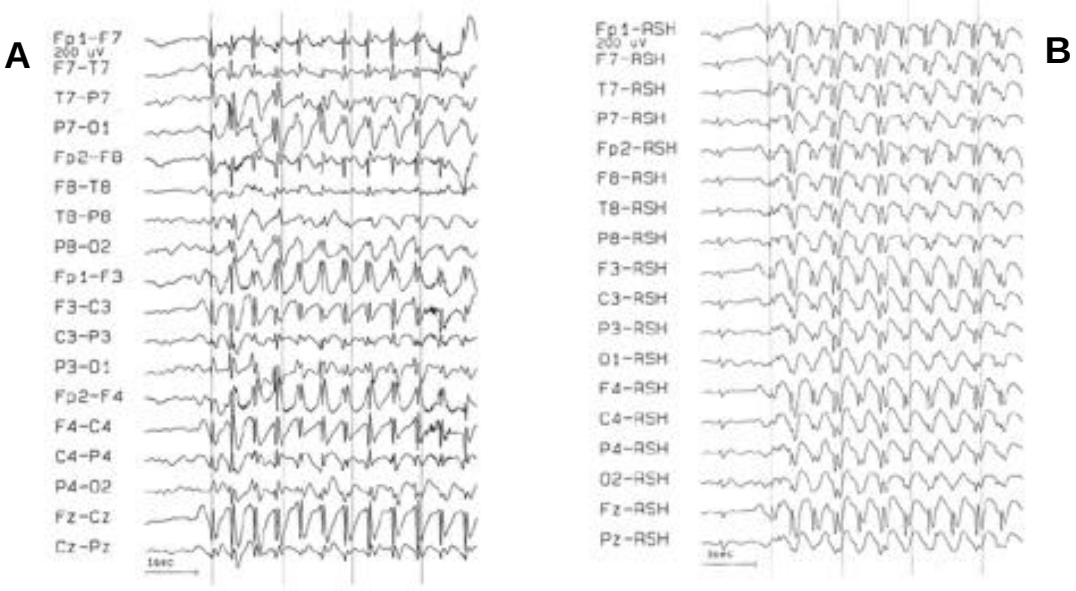

Figure 10. (**A**) Longitudinal bipolar montage shows generalized spike-wave complex. Because all electrodes produce epileptic discharges, the selection of reference electrode is almost impossible. (**B**) RSH (right shoulder electrode) reference montage is able to display a potential distribution of generalized spike-wave complex. Non-cephalic RSH electrode is far away from the brain, so relatively free from generalized epileptic discharges.

매우 작게 보일 수 있다. 그러므로, 알파리듬의 진폭을 비교할 때는 반드시 Cz reference montage에서 판단하여야 한다. A1, A2 reference montage는 A1, A2가알파리듬의 전기장(electrical field) 내에 있기 때문에 적합하지 않다(Fig. 9 - a, b, c). 알파리듬의 진폭은 일반적으로 오른쪽에서더크므로다음과같이판단한다.

왼쪽 뇌반구의 알파리듬 크기가, 오른쪽 뇌반구 알파리듬의 50% 미만일 때 왼쪽의 알파리듬이 작아진 것으로 판단하나, 오른쪽 뇌반구의 알파리듬의 크기는 왼쪽 알파리듬의 70% 미만일 때 오른쪽 알파리듬이 작아진 것으로 판단한다.

알파리듬의 진폭과 모양은 개인에 따라서 변동이 매우 크기 때문에 진폭의 비대칭이 지속되더라도 반드시 감소한 쪽 반구의 이상을 의미하지는 않는다. 하지만 여러 번 기록한 뇌파에서 점차적으로 알파리듬의 진동수나 진폭의 감소가진행된다면감소한뇌반구의이상을시사한다.

반대로 수면 중에 나타나는 vertex sharp transients, 수면방추(sleep spindle)의 진폭을 측정하여 비교할 때는 Cz reference를 사용하면 안 된다. 왜냐하면 수면 리듬들은 대개 vertex, frontocentral maximum을띠기때문이다. 수면 중에 비교적 조용한 A1, A2 reference와 transverse montage를 이용하여 양쪽 반구의 진폭을 비교하면 된다. 한 쪽이 다른 쪽의 50% 미만으로 지속적으로 감소되어 있다면 의미 있는 비대칭(asymmetry)이다. 일반적으로 paper EEG를 기록할 때 A1, A2 reference montage를 2번 째로 기록하고 Cz reference montage는 4번 째에 기록하므로 대개 A1, A2 reference는 각성 시 뇌파를 기록하게 되고, Cz reference는 수면 뇌파를 기록하는 경우가 많아서 판독에 장애가 된다. 따라서, paper EEG를 기록할 때에는 Cz reference를 2번 째에 사용하고 A1, A2 reference를4번째에사용하는것이더타당하다고생각한다.

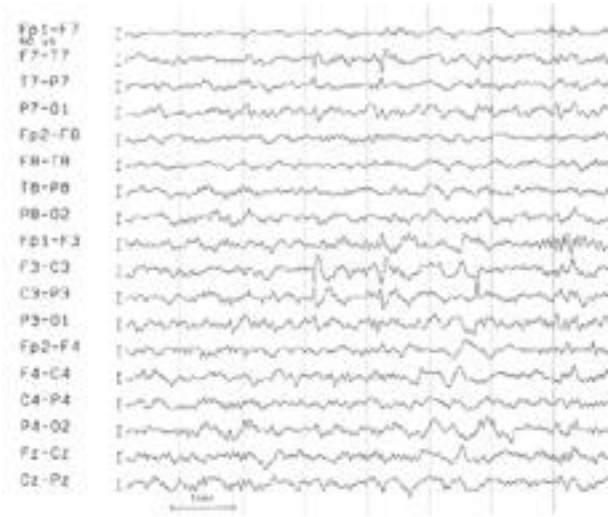

Figure 11. Phase reversals are seen at C3 and T7 electrode with a maximum deflection at C3. The location of maximum phase reversal indicates the epileptic focus at C3 (left central region).

4) 다음은 전위의 분포(distribution)이다. 이것은 뇌파에 기록된 전기적인 활동이 양쪽 뇌에서 전체적으로 발생하는지, 한 쪽 반구에서만 발생하는지 또는 국소적으로 뇌의 일 부분에서만 발생하는지를 기술하는 것이다. 간질과 같이간질 초점의 위치를결정할때, 국소적인 뇌의이상을 판단할 때, 뇌병변의 특성을 진단하는 데 특히 중요하다. 뇌파를 판독할 때는 항상 전위 분포를 생각하는 습관이 필요하다. 전위 분포가 전체 뇌에 걸쳐 있을 때를 wide-spread, diffuse or generalized로 표현하는데 전 채널에서 파의 진폭이 비슷하며 대개 위상반전(phase reversal)을 보이지 않거나 복잡하여 최대 전위점(maximum point)을 국소화하기 힘든 것이 특징이다. 뇌파의 변화가 뇌에 넓게 분포하여 있을 때는 기준전극(reference electrode)을 선정하기 어렵기 때문에 개별 전극에서 뇌파의 진폭을 측정하는 것이 매우 힘들다. 이때를 대비하여 right shoulder, left shoulder 등에 腦外 전극(extracerebral electrode)을 부착한후뇌파를기록하는 것이필요하다. Right shoulder electrode를 기준전극으로 하면 뇌 전체에 분포하는 전위의 분포를 국소 부위별로 정확하게 비교할 수 있다(Fig. 10 - a, b). 전기적인 활동(electrical activity)이 한쪽 뇌반구에만 나타나는 경우를 편측화(lateralized)로 표현하는데 전기적인 활동이 나타나는 반구의 이상일 수도 있고, 반대로 정상적으로 나타나야 하는 전기적인 활동이 없는 쪽 반구의 이상일 수도 있으므로 판단에 주의가 필요하다. 예를 들어서 수면 중에 정상적으로 나타나는 vertex sharp transients나 수면방추는 기록되지 않는 반구가 이상한 것이다. 또는 수면 중에 정상적으로 서파가 나타나는데 한쪽 반구에는 서파의 진폭이 감소하거나 보이지 않는다면이 반구에 이상이 있을 가능성이 높다.

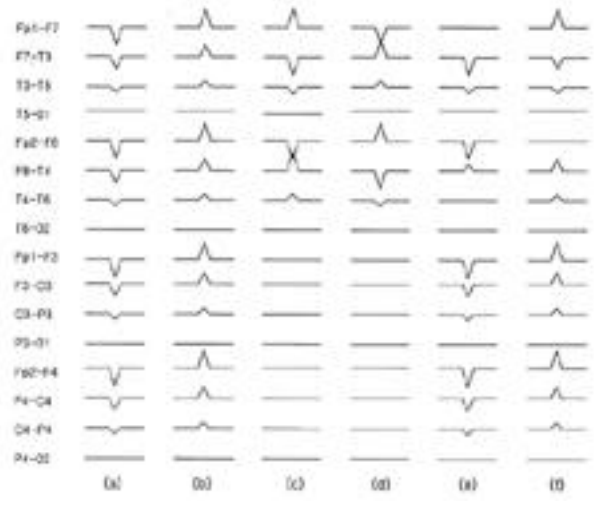

Figure 12. EEG changes according to eyeball movements. (a) upward eyeball movement, (b) downward eyeball movement, (c) left lateral eyeball movement, (d) right lateral eyeball movement, (e) left upward oblique eyeball movement, (f) left downward oblique eyeball movement.

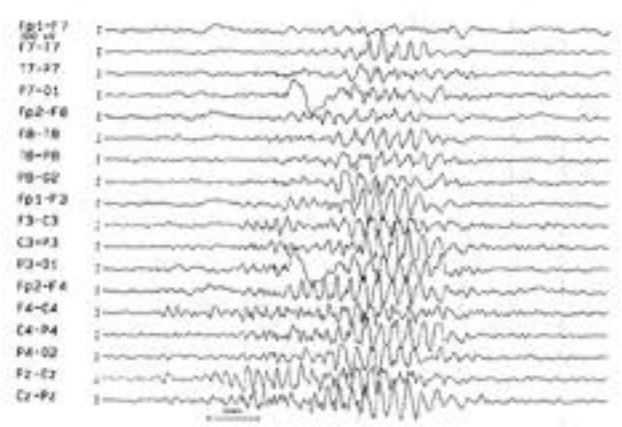

Figure 13. Hypnagogic hypersynchrony. Paroxysmal discharges of high amplitude slow waves intermixed with small sharp-looking waves are recorded during light sleep. This paroxysmal hypersynchrony is a normal drowsy response, not abnormal discharges.

뇌파의 변화가 하나 또는 두개 이하의 엽(lobe)에 국한되어 있을 때 국소적(regional)이라고 표현한다. 이 경우 최대전위점에서 위상반전을 보이게 된다. 편측 반구에서 국소적으로 발생하는 서파또는 sharp waves는 대개 이상소견이지만, 뇌의 중간(midline)에서 발생하거나 양쪽 반구에서 대칭적으로 발생하는 뇌파의 변화는 정상 소견일 수있으므로판독할때주의하여야 한다.

전기적인 활동이 두 곳에서 발생할 때는 bi - regional, 세 곳 이상에서 기록될 때는 다초점성(multifocal)으로 표현한다. 뇌파의 변화가 국소적일 때는 뇌파 판독지에 최대전위점의전극이름을함께 적어야한다.

5) 위상(phase)이란 뇌파의 발생 시간(timing)과 극성(polarity)을 의미한다. 여러 채널에서 기록되는 파형의 최저점(troughs)과 최고점(peaks)이 한 시점에서 일치하면 in phase라고 하며, 일치하지 않으며 out of phase라고 한다. 두 채널에서 최고점의 방향이 정 반대일 때 위상 차이가 180도를 의미하여 이러한 현상을" 위상반전 "이라고 부르고, 이는 뇌파 전위의 기원(origin)을 시사하여 간질 병소의위치를알려주는중요한 지표로활용된다(Fig. 11).

6) 반응성(reactivity)은 어떤 특정한 행동이나 자극을 주었을 때 정상 또는 비정상적으로 나타나는 뇌파의 변화로 뇌파 판독에서 중요한 부분이다. 알파리듬은 눈을 뜨면 감소하고, 눈을 감으면 뚜렷하여 지는데, 이러한 생리적인 eye blocking이 편측 반구에서 없어진다면 그 쪽 뇌반구에 문제가 있을 가능성이 있다. 8~14세 사이의 어린이에서 흔히 보이는 occipital slow waves인 " posterior slow waves of youth "는 정상적인 현상인데 종종 비정상적인 서파로 오판 되는 경우가 종종있다. 이것은 알파리듬과같은특성을 갖고 있어서눈을뜨면감소하고 눈을 감으면커진다. 진폭은 알파리듬의 1.5배 이내이며, 환자가 기민(alert)해지면 알파리듬과 함께 진폭이 작아진다. 따라서 알파리듬의 반응성을 잘 따른다면 정상적인 후두부 서파이다.

또한 눈을뜨고 감게 하면 환자를 기민하게 유지할 수있으므로 서파가 병적인 것인지 또는 단순히 졸림의 현상인지 구별하는 데도움이 된다.

위와 같은체계적인 뇌파 분석을 한 후 결과를 요약할때에도 다음과 같이 구체적으로 나열하는 것이 적절하다. 필자의 뇌파검사실에서는 이상 뇌파의 중한 정도를 두 가지 측면에서 결정한다. 하나는 이상 뇌파의 소견이 얼마나 특이하게 뇌질환을 시사하는지(specificity)를 보고, 두 번째는 이상정도가얼마나 심한지(severity)를평가한다. 예를 들어서 극파나예파는 1~2개만기록되어도 분명하다면간질의 가능성을 높게 시사하므로abnormality III가된다. 뇌전체에서 기록되는 간헐적인 서파는 특이도가 낮고 중하지 않기 때문에 abnormality I으로 판정하나 서파가 지속적(continuous slow)으로 발생한다면 더 중하기 때문에 abnormality II - III(알파 리듬의 상태에 따라서 구별)로 평가한다. 또한 서파가 간헐적으로 발생하여도 뇌의 한 곳에 국한되어 발생한다면 일정 부분의 뇌 이상을 알려주므로 특이도가 높아져서 abnormality II로 판정한다. 이와 같은 분류 방법은 원래 미국 클리블랜드 클리닉의 Hans Lüders가 제안한 것인데 매우 과학적이고 합리적인 평가방법으로생각된다. 다음에실제뇌파의예를들어본다.[22]

- 예 - 1) 왼쪽 측두엽에서 발작간 극파가 기록되고 간헐적으로 국소적인 서파가보일때

Abnormality III

1. Spikes, regional, left temporal lobe
2. Intermittent slow, regional, left temporal lobe

The waking and sleep EEG suggest a partial seizure disorder arising from left temporal region and a mild regional cerebral dysfunction over that area.

- 예 - 2) 전극 전체에서 전반적인 polyspike and wave mixture가 보이고, 알파 리듬의 진동수가 7 Hz로 느려져 있을 때

Abnormality III

1. Polyspike - wave mixture, generalized
2. Background slow

The waking and sleep EEG suggest a generalized seizure disorder and a mild diffuse cerebral dysfunction.

여기서 background slow는 알파리듬이 느려진 것을 의미한다. 이 환자는 24세의 성인이므로 알파리듬의 진동수가 8 Hz 미만이면background slow로 정의할수 있다.

3. 뇌파와 안구의 움직임

안구는 각막(cornea)이 양극, 망막(retina)이 음극인 쌍극자(dipole)로 눈동자가 움직일 때마다 뇌파에 큰 변화를 일으킨다. 따라서, 뇌파에변화가 발생하였을 때 이것이 눈동자의 움직임 때문인지 실제 뇌에서 발생하는 것인지를 구별하는 것은 뇌파를 판독하는 데 매우 중요하다. 필자가 미국의 클리블랜드 클리닉 간질센터에서 임상전임의를 시작했을 때 첫 2주 동안은 뇌파에서 눈동자의 움직임을 알아 맞추는 훈련만을 받았다. 2주가 끝날 무렵 뇌파를 보면 눈동자가 움직이고 있는지 어디로 향하고 있는지를 순간적으로 판단할 수있게되었고, 이러한 훈련은 뇌파를 정확하게판독하는데 크게도움이되었다.

Fig. 12를 보면서 설명한다. 가장 많이 사용하는 longitudinal bipolar montage에서 위의 8개 측두엽 계열(temporal chain)은 안구의 측면과 사면 움직임을 평가하는 데 중요하며, 아래 8개 parasagittal chain은 안구의 수직 움직임을 측정하는 데 유용하다. 안구가 옆으로만 움직인다면 parasagittal chain에는 뇌파의 변화가 없게 된다. 반면 조금이라도 수직 움직임이 있으면 parasagittal chain에 변화가 감지되는데 안구가 위로 올라가면 양극(positive pole)인 각막이 Fp1, Fp2에 가까워 지므로 이들 전극이 양의 전위를 갖게 되어 Fp1 - F3, Fp2 - F4 채널에서 아래로 내려가는 뇌파변화가 발생한다(Fig. 12 - a). 반면 양극인 안구가 아래로 내려가면 Fp1과 Fp2 전극이 음의 전위를 갖게 되어 Fp1 - F3과 Fp2 - F4 채널에서 위로 올라가는 뇌파변화가 발생한다(Fig. 12 - b). 다음으로 안구가 왼쪽 옆으로 움직인다면 양극인 각막이 F7에 가까워져서F7 전극이 양의 전위를 갖게 되어 Fp1 - F7 채널과 F7 - T3 채널에서서로 멀어지는 방향으로 양의 위상반전(positive phase reversal)이 발생하고, 반대로 F8 전극은 각막에서 멀어지므로 F8은 음의전위를 띠게 되어 Fp2 - F8채널과 F8 - T4 채널에서 서로 만나는 방향으로 음의 위상반전(negative phase reversal)이 일어난다(Fig. 12 - c). 이와 같은 방식으로 분석하면 어떤 방향의 안구 움직임도 뇌파에서 알아낼 수 있으며 안구 움직임과 뇌에서 발생하는 전위 변화를 정확하게 감별할수 있게 된다. 뇌파에서 안구 움직임을판정하는 능력은 뇌파 판독에 매우 중요함을 다시 한번 강조한다.

4. 위간질양 파형(Pseudoepileptiform patterns)과 잡음(artifacts)

위간질양 파형(pseudoepileptiform patterns)은 간질양뇌파와 유사하게 보이지만 임상적으로 간질발작과 관련이 없는 파형을 뜻한다. Small sharp spikes (benign epileptiform transients of sleep), 6 Hz spike - and - slow - wave (phantom spike - and - wave), 14 and 6 Hz positive bursts, rhythmical mid - temporal discharge (psychomotor variant), wicket spikes, occipital spikes and sharp waves of blind persons, SREDA (subclinical rhythmic EEG discharge of adults), midline theta rhythms (of Ciganek), paroxysmal hypnagogic hypersynchrony 등은모양은 간질양뇌파와 비슷하지만정상인 또는 실명한 사람에서 나타날 수 있기 때문에 이상 소견으로 해석해서는 안 된다. 예를 들어서 졸릴 때나 잠에 들거나 깰 때 기록되는 hypnagogic hypersynchrony는 갑자기 진폭이 큰 서파들에 작은 극파가 섞여서 나오는 경우 간질양파형으로오판할수 있다(Fig. 13). 또한위에나열한위 간질양 파형은 개인에 따라서 조금씩 다르게 나타나므로 많은 수의 정상 뇌파를 판독하는 교육을 받지 않은 의사는 정상을 이상으로 오판할가능성이높다.

잡음(artifacts) 역시뇌파판독에 많은혼란을 초래할 수 있다. 뇌파를 기록할 때 발생할 수 있는 잡음의 종류는 매우 다양하다. 위에서 기술한 눈움직임 잡음이 가장중요하며, 근육 긴장에 의한 muscle artifact, 환자가 머리를 움직이거나 또는 옆에 있는 검사 기사나 간호사가 움직일때 발생하는 movement artifact, 심전도에 의한 ECG artifact, 맥박에 의한 pulse wave artifact, 땀에 의한 perspiration artifact, 혀 움직임에 의한 tongue artifact, 음식을 삼킬 때 나타나는 oropharyngeal artifact, 치과에서 금, 아말감 등 서로 다른 금속으로 치료를 받으면 다른 금속사이에 전류가 흐르게 되어 뇌파를 기록할 때 잡음이 발생하는데 이를 dental restoration artifact라고 부른다. 이외에도 뇌파 전극, input cable, selector switch 등 장비에서 발생하는 잡음, 60 Hz artifact 등 매우 다양하므로 많은 뇌파를 판독하면서여러 가지 종류의 잡음에 익숙해져야 한다. 특히 뇌파를 판독할 때 잡음을 보면 이것이 무엇에 의한 것인지 꼭 알고자 노력하여야 한다. 동시에 잡음이 발생하면 반드시 뇌파기사로 하여금 잡음의 원인을 찾아서 기록하도록 지시하여야 한다. 왜냐하면 만약 잡음의 원인을 찾지 못한다면 실제 뇌파의 변화일 수도 있기 때문이다. 반대로잡음을 잘못하여이상 뇌파로오판하는경우도종종 있다.

REFERENCES

1. Schaul N. The fundamental neural mechanisms of electroencephalography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1998;106(2):101-7.
2. Duncan JS. Imaging and epilepsy. *Brain* 1997;120 (Pt 2): 339-77.
3. Elger CE, Widman G, Andrzejak R, Arnhold J, David P, Lehnertz K. Nonlinear EEG analysis and its potential role in epileptology. *Epilepsia* 2000; 41 Suppl 3:S34-8.
4. Speckmann E, Elger CE. Introduction to the neurophysiological basis of the EEG and DC potentials, In Niedermeyer E. *Electroencephalography. Basic principles, clinical applications and related fields*. 1999, Williams & Wilkins: Baltimore. 15-27.

5. Ebersole JS. Noninvasive localization of epileptogenic foci by EEG source modeling. *Epilepsia* 2000;41 Suppl 3: S24-33.
6. Buzsaki G, Traub RD, Pedley TA. The cellular basis of EEG activity. 3rd ed. In Ebersole JS, Pedley TA. *Current practice of clinical electroencephalography*. 2003; Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 1-11.
7. Ebersole JS. Defining epileptogenic foci: past, present, future. *J Clin Neurophysiol*, 1997;14(6):470-83.
8. Wong PK. Source modelling of the rolandic focus. *Brain Topogr* 1991;4(2):105-12.
9. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. *Rhythms of the brain. Neuroscience Exploring the Brain* 2001; Baltimore: Lipponcott Williams & Wilkins. 606-636.
10. Steriade M, Gloor P, Llinas RR, Lopes de Silva FH, Mesulam MM. Report of IFCN Committee on Basic Mechanisms. Basic mechanisms of cerebral rhythmic activities. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1990; 76(6):481-508.
11. Lopes da Silva FH, Vos JE, Mooibroek J, Van Rotterdam A. Relative contributions of intracortical and thalamo-cortical processes in the generation of alpha rhythms, revealed by partial coherence analysis. *Electroence-phalogr Clin Neurophysiol* 1980; 50(5-6): 449-56.
12. Steriade M, McCormick DA, Sejnowski TJ. Thalamocortical oscillations in the sleeping and aroused brain. *Science* 1993;262(5134):679-85.
13. Binnie CD,Stefan H. Modern electroencephalography: its role in epilepsy management. *Clin Neurophysiol* 1999; 110(10):1671-97.
14. de Curtis M,Avanzini G. Interictal spikes in focal epileptogenesis. *Prog Neurobiol* 2001;63(5):541-67.
15. Snead OC, 3rd. Basic mechanisms of generalized absence seizures. *Ann Neurol* 1995;37(2):146-57.
16. McCormick DA. Cortical and subcortical generators of normal and abnormal rhythmicity. *Int Rev Neurobiol* 2002;49:99-114.
17. Thatcher RW, Biver C, McAlaster R, Salazar A. Biophysical linkage between MRI and EEG coherence in closed head injury. *Neuroimage* 1998;8(4):307-26.
18. Thatcher RW, Biver C, McAlaster R, Camacho M, Salazar A. Biophysical linkage between MRI and EEG amplitude in closed head injury. *Neuroimage* 1998;7(4 Pt 1):352-67.
19. Thatcher RW, Krause PJ, Hrybyk M. Cortico-cortical associations and EEG coherence: a two-compartmental model. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986; 64(2):123-43.
20. Fisch BJ. *EEG primer: basic principles of digital and ana - log EEG*. Amsterdam: Elsevier Science BV 1999;145-154.
21. Ebersole JS, Pedley TA. *Current practice of clinical elec - troencephalography*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2003;102-108.
22. Lüders H, Noachtar S. *Atlas and Classification of Electroencephalography*. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 2000.