

부분간질에서 발작중 두피 뇌파의 양상과 정위화

Patterns and Localization of Ictal Scalp EEG in Partial Epilepsies

서대원¹ · 홍승봉¹ · 홍승철²

Dae Won Seo, M.D.¹, Seung Bong Hong, M.D.¹ and Seung Chul Hong, M.D.²

서론

뇌파는 간질에서 빠질 수 없는 중요한 검사로 많이 이용되고 있다. Hans Berger(1931)는 “나는 14명의 간질 환자 중에서 11번 뇌파상의 분명한 변화를 관찰하였다. 거의 모든 환자에서 뇌파상의 현저한 변동이 관찰되었다.”라고 보고하였고,¹⁾ Gibbs 등²⁾은 정신운동성 간질(psychomotor epilepsy) 환자에서 뇌파상의 이상은 전 측두엽 부위에서 나타났다고 보고하였다. 이러한 발작간(interictal : INIC) 및 발작중(ictal : IC) 발작파(epileptiform discharges : ED)에 대한 현재의 이해로 Lueder와 Awad(1992)는 전자를 흥분대(irritative zone), 후자를 발작시작병소(ictal onset zone : IOZ)로 정의하였다.³⁾ 그러나 이것은 추상적인 개념으로 실제 뇌파 판독의사 경험 등에 따라 다르게 평가될 수도 있으며, 전극 설치 종류 및 위치에 따라 달라질 수 있다. 또한 뇌 피질에서 발생하는 ED의 발생 부위는 두피 전극을 이용할 때 기록 부위와 떨어져 있어 방향, 모양, 범위에 따라 다르게 기록될 수 있다. 또한 모든 발작에서 뇌파의 변화를 동반하는 것은 아니며 특히 단순 부분 발작 등에서는 뇌파의 변화가 없을 수도 있다. 비운동성 단순 부분 발작의 40%에서는 정상적인 뇌파를 나타내며, 운동성 단순 부분 발작의 20% 정도에서 정상으로 관찰된다. 이차적 전신성 발작(secondarily generalized seizure)의 경우 대부분 뇌파의 변화를 관찰할 수 있으나, 근전도 잡파로 인해 뇌파 분석이 어려운 경우도 있다. 또한 양측성 긴장성 발작(bilateral tonic seizure), 과운동성 발작(hypermotor se-

izure)의 경우 역시 근전도 또는 움직임 잡파로 인해 뇌파의 분석이 어려울 수 있다.

발작중 뇌파(ictal EEG : ICEEG)는 일반 뇌파검사에서는 드물게 관찰되며, 비디오-뇌파 집중검사(video-EEG monitoring)에서 주로 관찰하게 된다. 일반적으로 발작이 일어날 때 기록되지만 임상적 증세 없이도 관찰될 수 있다(subclinical seizures). 또한 ICEEG로 간질 진단을 내릴 수 없는 경우도 있다. 즉 다양한 양상으로 나타나 정위화(localization) 및 편측화(lateralization)가 어려운 경우가 많다. 특히 측두엽 간질(temporal lobe epilepsy : TLE)에서 IOZ이 내측 구조물에서 일어날 때 측두엽으로 퍼진 후에 나타나므로 동측 측두엽 부위보다 반대편으로 먼저 전파된다면 간질이 시작되는 부위를 잘못 이해할 수 있다. 또한 전방부 전두엽 간질(frontal lobe epilepsy : FLE)의 경우는 안구운동, 순목 반사에 의해 ICEEG를 감별하기 쉽지 않다. 또한 반구간 부위(interhemispheric area : IHA)에서 시작되는 경우는 IOZ이 나타나지 않을 수도 있으며, 반대측 반구로 편측화(paradoxical lateralization)될 수 있다. 또한 FLE는 이차적 좌우측 동시성(secondary bilateral synchrony)이 있을 수 있으므로 두피 전극만으로 IOZ을 확인하기 어려울 수 있다. 또한 비디오를 연관시켜 분석하지 않으면 불특정한 서파 인지, 각성상태의 변화인지(state change), 발작과 인지 감별하기 어려운 경우도 있다. 물론 subclinical rhythmic EEG discharges of adults(SREDA) 같은 뇌파의 변형이나 ICEEG와 유사한 잡파(artifacts mimicking EEG seizure)와 구별해야 한다.

이러한 문제점들은 비디오와 같이 분석하면서, 몽타쥬 설정을 잘 하고, 필터설정을 바꾸면서 더욱 정확성을 높일 수 있다. 또한 간질 수술과 기능적 구조적 영상 진단 방법의 발달 및 비디오-뇌파 검사의 경험 축적, 뇌파 기기의 발전으로 ICEEG와 다른 검사 및 수술 결과 등과의 비교 연구를 통해 많은 점들이 알려지면서 수술 전 ICEEG의 확인은 간질

¹성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경과학교실

²신경외과학교실

Departments of Neurology¹ and Neurosurgery², Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

교신저자 : 서대원, 135-710 서울 강남구 일원동 50

TEL : (02) 3410-3595 · FAX : (02) 3410-0052

E-mail : dwseo@smc.samsung.co.kr

수술 전 검사의 필수적인 방법으로 그 중요성은 익히 알려져 있다. 예일 대학의 Spencers 등은 부분 간질에서의 ICEEG의 민감도를 50%, 특이도를 70% 정도로 말하고 있다.⁴⁾ TLE의 ICEEG에 대한 몬트리올 국립 연구소(Montreal National Institute; MNI)의 보고에 의하면 측두엽에 국한된 경우는 42.7%, 병변 반구로 편측화된 경우는 9.4%, 전반적 변화 22.8%, 판독 불가능 27.4%로 보고 하였다.⁵⁾ 또한 병변에 따라서 다르게 나타나 측두엽에 커다란 병변을 갖는 경우 편측화의 정확성이 떨어진다고 하였다.⁶⁾

본 글에서는 부분발작의 ICEEG에 대해 우선 비디오-뇌파 검사 방법에 대해 살펴보고, ICEEG의 양상, 편측화, 정위화에 대해 설명하고, 간질의 원인에 따른 특징을 살펴보겠다.

본 론

1. 비디오-뇌파 검사실

1) 항경련제 조절 및 발작 기록

돌발적 증상(paroxysmal events)으로 간질이 의심되거나, 간질증후군의 감별진단이 필요하거나, 수술을 위한 간질 발생 부위의 국소화가 필요한 경우 등에서 일주일 정도 입원하여 시행하게 된다. 이미 항경련제를 복용하는 경우는 입원기간 동안 발작을 기록하기 위해 서서히 줄여 나가는데, 짧은 반감기를 갖는 항경련제(carbamazepine, etc)는 첫날 50% 감소, 삼일째 중단한다. 중간정도 반감기(phenytoin, valproate, etc)는 첫날 완전 중단한다. 고용량을 사용할 경우 입원 전 일주일에 미리 50%를 감소 시킨 후 입원한다. 긴 잠복기(phenobarbital, primidone, etc)는 입원 일주일 전 50% 감소, 입원 다음날 중단하거나 carbamazepine으로 대체한 후 입원시킨다. 기타 benzodiazepine은 2일마다 20%씩 감소시켜 30~40%로 유지한다. 이 경우 불안, 전신발작(generalized withdrawal seizures)을 일으킬 수 있으므로 주의한다. 이렇게 항경련제를 줄여서 발생하는 간질발작은 약물 농도가 떨어지는 기간보다는 떨어진 후의 낮은 농도로 유지되는 기간에서 부분 발작 및 이차적 전신발작 모두 빈도가 증가한다. 하지만 뇌파의 파형, 반대측으로의 전파, 발작의 기간에 영향을 주지 않는다고 알려져 있다.⁷⁸⁾ 간질에 따라서 TLE의 경우는 빨리 줄이고, extra-TLE의 경우는 줄이지 않아도 된다고 한다.⁹⁾ 그러나 barbiturate와 benzodiazepine은 발작의 증가가

일어날 수 있으므로(rebound seizures) 주의해야 하겠다. 기록하는 발작의 횟수는 일반적으로 3에서 10개 정도를 기록하는데 적어도 4개 이상의 기록이 필요하겠다.¹⁰⁾

2) 두피 전극 설치

미국뇌과학회의 modified combinatorial nomenclature system에 따라 이전 검사 및 이상이 의심되는 곳을 중심으로 10~20 전극들과 선택적인 10~10 전극들 및 필요시 접형전극(sphenoidal electrodes; multistranded silver electrodes coated with teflon, inserted with a spinal needle in the zygomatic fossa adjacent to the foramen ovale, to a depth approximately 4.5~5 cm), 안와상부전극(supraorbital electrodes)을 설치한다. Silver/silver chloride cup 전극을 이용하고, 콜로디온(collodion)으로 단단히 붙인 후 임피던스(impedance) 검사를 하여 저항을 5 kOhm 이하로 유지되는지 확인하며, 필요시 용액(electrolyte)을 주입한다. 간질에 따라 전극을 붙이는 방법은 TLE가 의심될 때 측두엽 부위의 10~10 전극(AF7~8; F9~10; FT7~10; T9~10; TP7~10)과 접형전극을 설치한다(Fig. 1). 물론 접형전극이 10~10 기저전극 또는 전측두엽 전극보다 크게 우수하지는 않다고도 하지만¹³⁾ TLE에서 일반적으로 찾을 수 없는 ICEEG를 19% 정도 찾을 수 있으며, 평균 5초 이상 IOZ을 미리 관찰할 수 있는 경우가 70%나 된다고 알려져 있다.¹⁴⁾ 그러나 비인후전극은 잡파가 많이 나타나 크게 유용하지는 않다고 알려져 있다.¹³⁾ FLE 중 전두엽 기저부 및 극부 쪽이 의심될 때는 안와상부전극과 10~10 전극(FP1~2; AF3~4, 7~8; F1~8, FC1~6, C1~6)을 사용한다(Fig. 6). Parasagittal, 또는 midline 부위 간질이 의심될 때는 편측화를 위해서 10~10 전극(AFz; AF3~4; Fz~4, FCz~4; Cz~4, CPz~4, Pz~4)들이 필요하다(Fig. 2). 후두엽 간질(occipital lobe epilepsy; OLE)이 의심될 때는 10~10 전극(Oz~2, POz, 3~4, 7~8; Pz~8)이 필요하다. 이렇게 이전검사 및 간질발작에 대한 병력을 토대로 의심되는 부위 중심의 전극들을 설치한 후 간질발작을 기록하고 나서, 추가로 필요한 전극의 설치에 대한 수정이 필요하며, 적절한 몽타주를 만들 필요가 있다. 우선 탐색 목적으로 전후이극성 몽타주(longitudinal bipolar montage; midline 전극 포함)를 만들고, 좌우 이극성 몽타주(transverse bipolar montage) 및 모든 전극을 포함한 단극성 몽타주

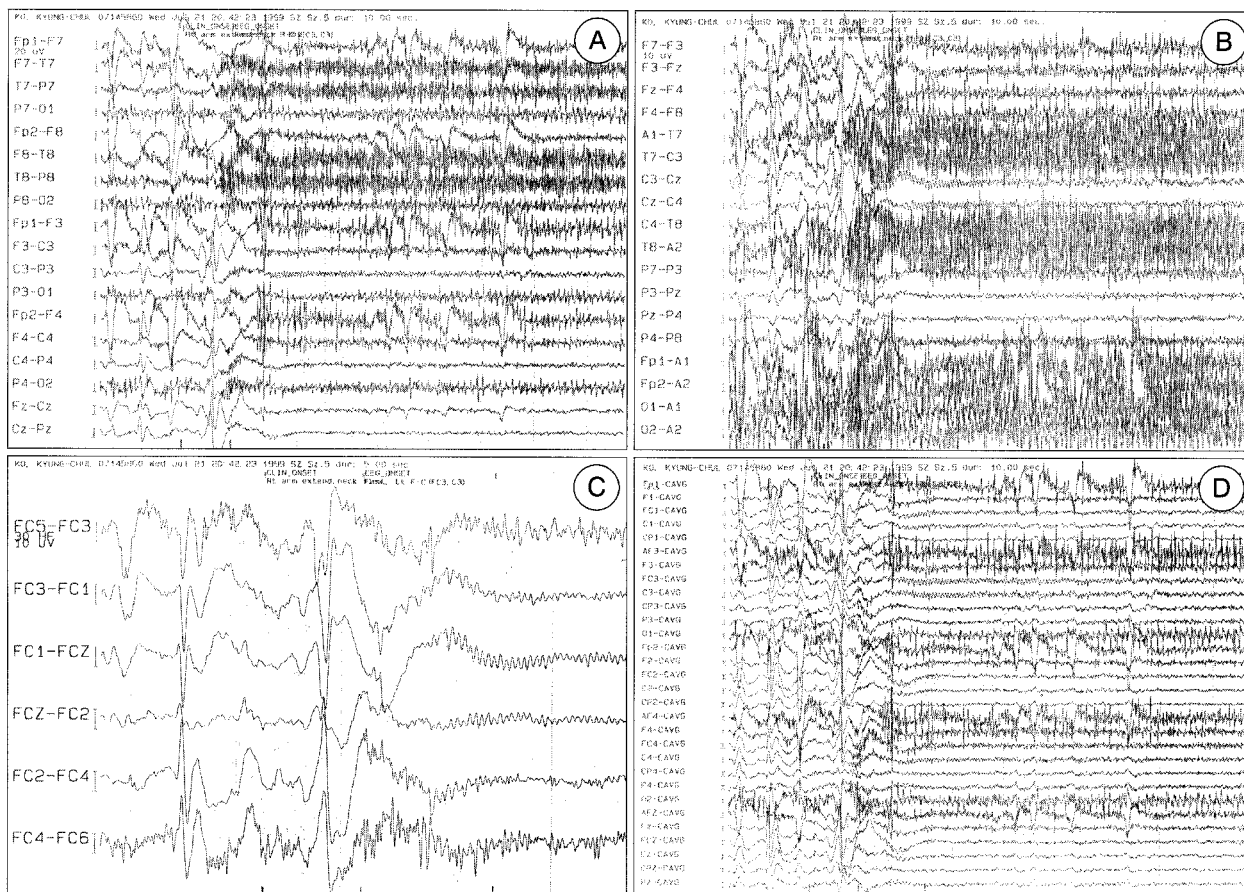


Fig. 2. Ictal scalp EEG in left frontal lobe epilepsy. A : Rhythmic beta activities are seen in left frontocentral area after preictal spikes. B : The transverse montage shows mainly central beta activities although the lateralization of ictal onset zone is difficult. C : The transverse montage with 10-10 midline electrodes makes the ictal EEG more discrete (sweep length : 5sec). D : The referential montage with common averaging mode referential electrode reveals the maximum of ictal activities in FC3 and C3 electrodes clearly.

및 종료후 변화(postictal change)를 확인하는 것이 필요하다. 또한 ICEEG 시작과 임상적 발작 시작간의 시간관계를 확인하는 것이 필요하다. ICEEG 시작이 임상적 발작시작에 비해 빠르면 빠를 수록 간질발생부위의 병소에 가까운 부위에서 ICEEG가 시작된다는 확신이 커진다. 임상증세 후의 뇌파는 직접 기록되지 않은 부위에서 시작된 후 퍼진 후라고 볼 수 있다. 그 후 여러 몽타주에서 ICEEG를 분석하는데 IOZ을 잡는 것이 가장 중요하다.

(1) ICEEG의 시작(ictal onset : IO)

기초 뇌파(baseline EEG)에서 변화가 시작되어 지속되는 시점을 찾아 정한다. 대개 3초 이상의 뇌파의 변화가 지속되는 부위를 정하지만,¹⁶⁾ Spencer 등¹⁷⁾은 “paroxysmal, rhythmic, sustained EEG pattern distinct from background and unrelated state or spiking EEG pattern with a frequency >2 Hz. accompanied by obje-

ctive to subjective clinical manifestations reported to be typical of habitual seizure activity by the patient and family”로 정의하였다. 특히 수면에서 깨 때 발생하는 상태 변화를 고려한 후 판단한다. 그 후 IO에서 나타나는 파형을 정의한다. 이에 대해서는 일정한 표현으로 통일되어 있지 않다. 각 연구자마다 기술한 표현을 보면 클리브랜드 클리닉의 Steinhoff 등¹⁶⁾은 TLE에서 1) attenuation(only if lateralized ; ATT), 2) cessation of IED(CIED), 3) repetitive spiking(RS), 4) rhythmic delta(RD), 5) rhythmic theta or alpha(RT), 6) rhythmic sustained theta or alpha(> 10 sec ; RST), 7) rhythmic beta (RB)의 일곱 가지로 기술하였고, Ebersole과 Pacia¹⁸⁾는 TLE에서 type 1A : an initial, regular 5- to 9-Hz inferotemporal rhythm >5 sec(most specific for hippocampal onset), type 1B : similar vertex/parasagittal positive rhythm >5 sec, type 1C : combination of

types 1A and 1B rhythms, type 2A : irregular polymorphic 2~5 Hz lateralized activity (commonly neocortical onset), type 2B followed by type 1A theta, type 2C preceded by repetitive, sometimes periodic sharp wave, Type 3 seizures without a clear lateralized EEG discharges (commonly neocortical onset)로 기술하였다. 그러나 일반적으로 부분발작의 ICEEG의 소견은 1) 전반적으로 파형의 진폭이 감소되는 경우 (electrodecremental change), 2) 반복적으로 간질 파형이 나타나는 경우 (repetitive ED), 3) 델타에서 베타까지 다양한 주파수의 규칙적인 파형이 나타나는 경우 (rhythmic discharges)로 나눌 수 있다. Blume 등¹⁹⁾은 부분 발작에서 11%는 electrodecremental change, 39%는 repetitive epileptiform discharges, 47%는 sinusoidal waves를 나타낸다고 기술하였다.

IO를 정하고 그 시점의 파 형태를 결정한 후 여러 몽타쥬를 이용하여 IOZ을 찾게 되는데 우선 이극성 몽타쥬를 이용하여 편측화 (lateralization)를 확인하고 대략의 국소화 (localization)를 한다. 그 후 단극성 몽타쥬에서 negative field gradient 및 최대 진폭 (maximum amplitude)을 보이는 곳을 찾아 IOZ을 확인한다 (Fig. 1, 2). 이 때 단극성 몽타쥬의 기준전극은 field에서 가장 먼 곳으로 잡파가 없는 전극을 사용해야 하겠다. 적합한 전극이 없으면 noncephalic electrode (right shoulder)나 common averaging mode를 이용한 기준전극을 이용할 수 있다.

(2) 전파경로

IO 이후의 뇌파에서 전파경로 (spread) 및 성장양상 (build-up pattern)을 확인한다. 간질의 종류에 따라 매우 다양하게 나타나며, 한 환자의 같은 IOZ에서도 다른 양상의 변화를 보이기도 한다. Brekelman 등²⁰⁾에 의하면 내측 두엽 간질은 첫째, 내측두엽에서 동측 측두엽을 거친 후 동측 전두엽으로, 둘째 직접 동측 전두엽, 셋째 반대측 내측두엽으로 전파되는 경향이 있다고 하였다. 외측두엽 간질에서는 첫째, 외측두엽에서 동측 내측두엽으로 간 후 동측 전두엽으로, 둘째 동측 내측두엽 후 반대측 내측두엽으로 퍼질 수 있고, 셋째 동측 전두엽으로 직접 전파될 수 있다고 하였다. 이러한 전파 경로는 전교련 (anterior commissure) 또는 뇌량 (corpus callosum)을 타고 측두엽 신피질의 반대편 동소 부위 (homotopic region)로 갈 수 있으며, 해마교

차연결 (hippocampal commissure)을 타고 내측두엽 간에 전파될 수 있다.²¹⁾ 또한 구상속 (uncinate fascicles)을 타고 전두엽으로 전파될 수 있다. Extra-TLE는 동측의 신피질간의 다양한 연결을 통해 다양한 전파가 가능하다. 특히 FLE의 경우는 뇌량을 타고 매우 빨리 전파되므로 편측화에 어려움이 많으며, OLE, PLE의 경우는 infra-Sylvian 또는 supra-Sylvian 경로를 타고 전파되어 다른 발작의 양상을 나타낼 수 있다.²²⁻²⁴⁾

(3) 종료시 및 종료후 뇌파변화

일반적으로 종료시 ICEEG 의미는 낮게 평가하지만 TLE에서 IOZ과 같은 부위에서 종료한다면 수술 결과가 좋은 것으로 알려져 있다.¹⁷⁾ 발작의 종료는 adenosine의 증가²⁶⁾ 또는 inosine과 hypoxanthine의 benzodiazepine 수용체와의 결합²⁷⁾으로 일어난다 한다. ICEEG 종료 후 변화 (postictal pattern)에 대한 연구로 Kaibara와 Bloom²⁸⁾에 의하면 37%가 다형의 델타 또는 세타 (polymorphic delta or theta), 29% 배경파의 진폭감소 (attenuation of background), 31% 즉시 정상 회복 (immediate return to normal background), 25% 발작과 활성화 (spike activation)를 나타낸다고 하며, 하나 이상의 유형을 나타낼 수 있다고 하였다. 특히 전신발작으로 진행한 경우나 양측성의 발작의 경우 42%에서 다양한 유형을 나타내었고, 국소적 ICEEG의 경우는 관찰되지 않았다고 했다. 그러나 68.6%에서 편측화 가능하여 편측화에 이용될 수 있다고 하였다. 다형의 델타 및 세타 (postictal delta or theta : its new appearance or a greater than 50% increase in voltage as compared to the preictal state)파는 피질의 기능적 해리 (functional deafferented cortex)를 나타내며, 배경파의 진폭감소 (attenuation of background : postictal reduction of background activity to absent or minimal (10uV))는 발작 후 과분극으로 인한 신경세포의 불활성 상태 (relatively neuronal inactivity from postictal hyperpolarization)를 의미하며, 발작파의 활성화 (activation of spike : new appearance of spikes during the first 5min. Postictally or an at least 3 fold-increase in spike quantity)은 세포외액에서의 K⁺ 이온 증가, Ca⁺⁺ 이온 감소와 같은 이온의 변화에 의한 자발적인 활동상태 (ionic alteration (increase in extracellular K⁺ and lowering extracellular Ca⁺⁺ increase spontane-

ous activity)를 의미하는 것으로 알려져 있다.

(4) ICEEG의 편측화 및 정위화.

편측화에 대한 기술은 좌우측의 두 배 이상 차이 나면 “좌측” 또는 “우측”으로 보고, 두 배 미만이지만 뚜렷한 차이가 있다면 “양측성(좌측>우측)”과 같이 기술하며, 좌우 차이가 뚜렷하지 않다면 “편측화 불가(nonlateralized)”로 표시한다. 정위화에 대해서는 “구역적(regional)”, “반구적(hemispheric)”, “정위화 불가(nonlocalization)”로 나눈다. 이러한 위치의 결정은 IOZ 이외의 성장양상을 보고 결정한다. 물론 IOZ과 성장양상의 later significant pattern(LSP) 모두 일치하면 편측화와 정위화 모두 보다 정확해지지만, 둘이 일치하지 않을 경우는 IOZ에 더욱 비중을 둔다. 일반적으로 electrographic seizures는 발작이 진행할수록 편측화 및 정위화의 가치가 떨어진다. 즉 IOZ이 가장 높으며, 성장양상 역시 도움을 줄 수 있으나, 발작후 양상의 의미는 낮은 것으로 생각한다. 또한 IO 시간이 임상적 발작 시작 시간보다 늦을수록 ICEEG의 의미는 더욱 낮게 된다.²⁸⁾ TLE에서 기술하는 양상으로 Steinhoff 등¹⁶⁾은 첫째 “Temporal”(temporal vs parasagittal chain >2:1 in bipolar, and two sides >2:1 in referential montage), 둘째 “Hemispheric”(temporal vs parasagittal chain <2:1 in bipolar, and two sides >2:1 in referential montage >2:1), 셋째, “Bilateral, lateralized left or right”, 넷째, “Bilateral, nonlateralized”, 다섯째, “Extratemporal, left or right”로 나누었다.

이러한 ICEEG의 정확성에 대한 연구를 보면 국소화에 대한 정확성에 대한 많은 보고가 있다. Spencer 등⁴⁾에 의하면 세 명의 판독 의사 간에서의 ICEEG 단독에 대한 일치율에 대한 연구에서 좌우측이 일치할 경우는 64~74%, 엽(lobe)이 일치할 경우는 58~60% 였으며, 심부전극과 비교한 경우 좌우측이 일치할 경우는 46~49%, 엽(lobe)이 일치할 경우는 21~38% 였다고 보고하였고, 그러나 간질 증후군중 TLE에서는 오차가 3~17%로 가장 적었다고 하였다. PET와 심부전극을 비교한 Engel 등²⁹⁾에 의하면 편측화 49%, 정위화 47%, 판독불가 49%였다. Walczak 등³⁰⁾에 의하면 TLE는 76~83%, extra-TLE는 47~65%에서 정확히 편측화 할 수 있었고, 편측화가 가능한 ICEEG 중 TLE 발작일 경우는 93~99%, extra-TLE 발작은 89~100%에서 정확히 정위화 할 수 있었다고 하였다.

더욱 엄격한 기준을 적용한 Steinhoff 등¹⁶⁾에 의하면 TLE에 대한 자신이 설정한 상기 일곱 양상의 기술 방법에 대해 판독의사 간에 불일치하는 경우는 5.1%였으며, 편측화에 대해서는 2.5% 였다고 하였다. 특히 IO에서의 단측성 ED를 나타낼 때 일치율은 0.89, LSP에서의 일치율은 1.0, 양측성 ED를 나타낼 때 각각 0.82, 0.85의 일치율을 나타낸다고 보고하여 단측성 ED를 갖는 TLE의 일곱 가지 기준에 따른 ICEEG 판독은 매우 효과적 이었다고 주장하였다. Extra-TLE 간질에 대한 이상건 등³⁾의 연구에 의하면 국소화가 쉬운 순서로는 OLE 70%, lateral TLE 52%, FLE 23%, PLE 10% 순으로 나타난다고 하였다.

ICEEG의 정확성은 뇌파기기 및 판독의사의 숙련 여부에 따라 다소 차이가 나타날 수 있으며, 점차 그 정확성이 높아지는 추세이며 비디오의 분석, 구조적, 기능적 영상, 침습적 뇌파 검사를 통한 결과와 비교한다면 그 의미가 높아질 수 있다고 생각된다.

2. 부분간질의 종류에 따른 특징

1) TLE

가장 흔한 부분 간질의 원인으로 전조증상에 대해 정신성(psychic) 또는 시각적(visual) 경험적(experiential) 전조 증상만 있을 때는 뇌파의 변화가 적으나, 측두엽 내측의 전조 증상인 공포(fear), 메스꺼움(nausea) 등의 전조증상이 있을 때는 자주 뇌파의 변화를 나타낸다.

IOZ의 뇌파 양상은 “rhythmic theta”, “rhythmic delta”, “rhythmic alpha”, “fast”, “electrodecremental response”, “repetitive spiking”으로 나누는데 드물게 “spike wave complexes” 또는 “spike wave mixture” 모양으로도 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 그러나 임상증세 후 10~30초 내에 측두엽에서 세타 범위의 파형이 규칙적으로 증폭되는 것이 가장 특징적이다.²⁸⁾³⁰⁾ 또한 초기 주파수가 5 Hz 이상의 빠른 규칙적 편측화된 ICEEG를 나타낼 경우 내측두엽 간질을 시사한다.²⁸⁾ Steinhoff 등¹⁶⁾은 세타 범위의 규칙적인 파형이 10초 이상 지속되는 경우(rhythmic sustained theta) 내측두엽을 시사한다고 한다.

병리학적으로 확인된 내측두엽 간질 환자에 대한 연구에서는 모두 델타, 알파, 세타 범위에 속했는데, 13%에서는 frontocentral midline에 걸쳐 최대치를 나타내는 “non-lateralized slowing”이 먼저 나타났고, 83%는 “regional temporal pattern”, 17%는 “lateralized seizure pa-

tttern", 3%는 "contralateral regional temporal area", 1%는 "contralateral lateralized pattern"을 나타내었다.³¹⁾ 특히 "widespread bilateral rhythmical slowing"이 주로 세타 범위의 주파수로 측두엽에 국한되어 국소적으로 나타나는 것에 대한 해석으로 "nonlocalizable seizure onset"이라고 판단하기 보다는 내측두엽 부위에 위치한 발작 병소(mesiotemporal located generator)에서 전두엽 내측부위(frontal midline structure)로 전파되어 나타난 파형 또는,³²⁾ 중심두정엽(centroparietal midline)에서 최대치인 "volume-conducted activity"일 가능성이 높다.³¹⁾

TLE의 ICEEG는 start-stop-start(SSS) pattern을 나타낼 수 있다고 알려져 있다(Fig. 3). Atalla 등³³⁾에 의하면 13%에 나타나며 "start"는 평균 11초간 지속되며 접형 전극에서 최대치를 나타내며 매우 좁은 field를 나타내며, "stop"은 8초 정도, "restart"는 87%에서 처음과는 다른 파형 또는 주파수로 나타나며, 67%에서 보다 넓은 field를 나타내었고, 반대측에서 나타나기도 했다고 보고하였다. 또한 임상적 발작은 start와 restart 사이에서 시작되었다고 하였다. 경막하 전극에서도 Blume 등³⁴⁾은 같은 양상의 SSS pattern을 관찰하였고, 그 "stop"이 나타나는 이유로 첫째, 고 주파수 파형이 있을 경우 "stop" 형태로 나타날 수 있으며,³⁵⁾ 둘째, 깊은 구조물(deeper structure)로 이동 후 다시 "restart" 될 경우, 셋째, IC ED 소실되어 나타날 경우를 가정할 수 있으나, 첫번째 설명이 가장 설득력이 있다. 이러한 SSS pattern을 고려할 때 TLE에서 IOZ을 결정할 때 "start"가 있었는지 발작시작 전 부위의 뇌파를 검토하는 것이 필요하다.

또한 이극성 몽타주에서 ICEEG의 변화가 뚜렷하지 않

아도 접형전극 몽타주에서 확인하거나 10~10 기준 전극 몽타주에서 확인 될 수 있으므로 반드시 다른 몽타주의 확인이 필요하다(Fig. 4).

내측두엽 간질에서의 ICEEG의 정확성을 보면 Murro 등³⁶⁾은 51%에서 국소적 양상으로 나타났으며, 2%에서는 반대측으로 나타났다고 하였다. 측두엽 내측 경화증 환자를 대상으로 한 Ebner 등³¹⁾은 83%에서 국소적, 17%에서 뇌 반구적으로 나타났다고 하였다. Williamson 등³⁷⁾은 81%에서 정확하게 편측화 가능했지만, 1~13%에서는 잘못 편측화 될 수 있다고 보고하였다. Steinhoff 등¹⁶⁾은 단측성 ED를 나타낼 때 IO에서는 90%, LSP(after the first 10 seconds of seizures)에서는 100% 정확히 편측화 가능했고, 양측성 ED를 나타낼 때는 다소 떨어져 IO에서 64%, LSP에서 77% 편측화 가능했다고 보고하였다. 편측 내측 두엽 간질환자의 ICEEG에 대한 연구에서 Pataria 등³⁸⁾은 편측화를 88.4~92.0%에서 나타냈으며, 시작부위에서 (IO)는 30.4~33.9%에서 편측화되었고, IO 후 12.6~13.3초에 나타나는 later significant pattern(LSP)에서 IO에서 편측화 되지 않은 82.4~91.0% 발작에서 편측화 되었고, 이에 대한 검사자 간의 일치율은 매우 높았다고 보고하였다(interobserver reliability, k=0.85). 또한 한 환자에서 50% 미만의 발작에서만 편측화 되었던 경우는 4.2~8.3% 있었다고 하였다. 따라서 단측성 ED를 나타낼 경우는 대부분 정확히 편측화 할 수 있으며, 양측성 ED일 경우는 다소 떨어지지만 IOZ과 LSP을 고려할 때 매우 높은 정확성을 나타내며, 검사자간의 일치률도 매우 높다고 볼 수 있겠다. So 등³⁹⁾에 의하면 23~30%에서 양측성 ED를 나타낸다고 하였고, 이 중 70%는 심부전극에서 일측성 측두엽

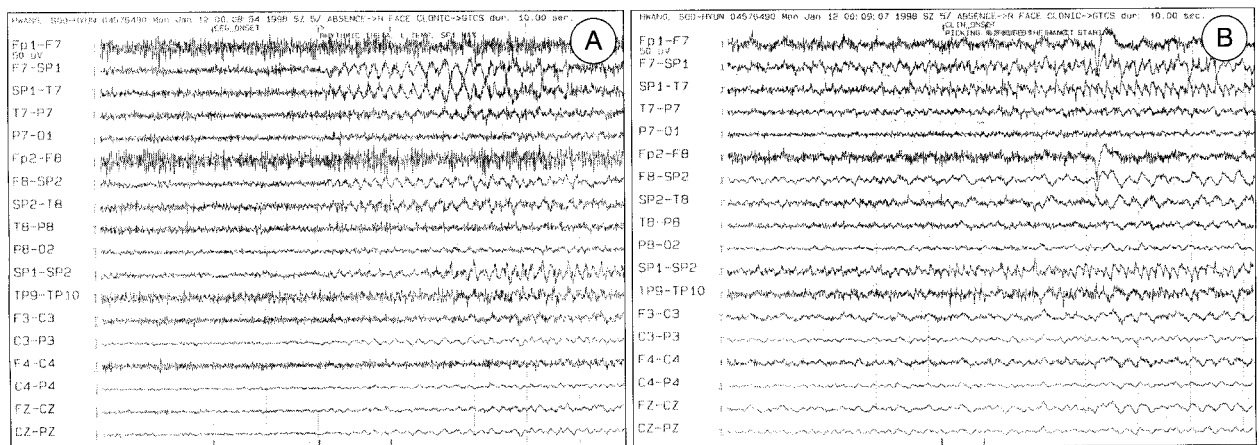


Fig. 3. Start-stop-start pattern EEG in left mesial temporal epilepsy. The start period showed Sp1 maximum for 5 seconds, followed by stop period, and then the restart period appeared with different frequency.

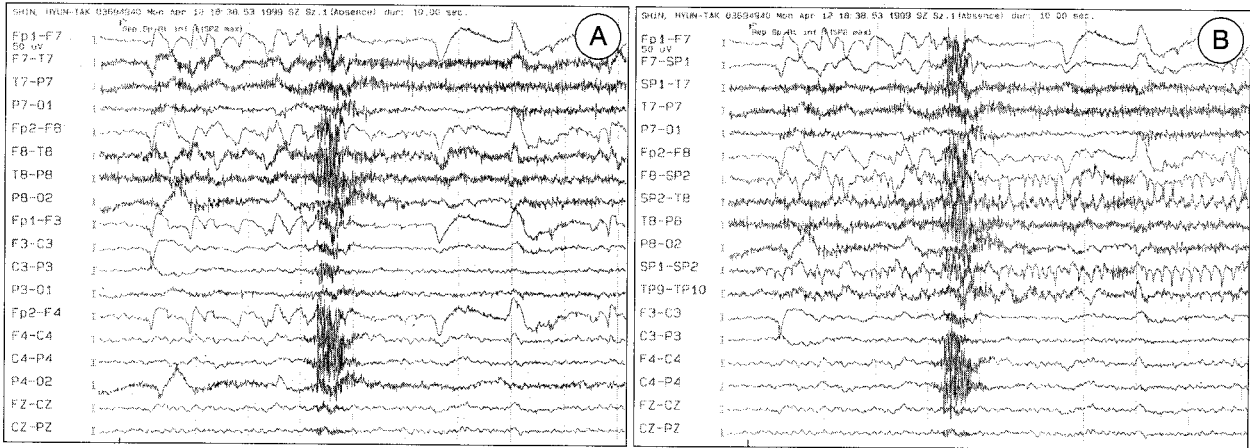


Fig. 4. The comparison of routine and sphenoidal scalp EEG. The epileptiform activities are not seen in routine longitudinal bipolar montages (A) but in sphenoidal montage (B).

간질을 나타내었으며, Hirsch 등⁴⁰⁾은 양측성 ICEEG 중 43%에서 심부전극에서 편축화가 가능하였다고 하였다. Steinhoff⁶⁾은 양측성 ED를 나타내는 환자들의 ICEEG 특성으로 "bilateral independent seizure onset", "asynchronous of ictal activity(1Hz or greater frequency difference or out of phase)", "switch of ictal activity from one hemisphere to the other"를 들었다. 따라서 양측성 ED를 나타낼 경우는 주의 깊은 판독과 함께 두개강내 전극 검사가 도움이 될 수 있다.

내측두엽과 외측두엽 간질에 ICEEG의 차이점으로 O'Brien 등⁴¹⁾은 외측두엽의 경우 양측성을 나타내는 경향이 많았으며, Pacia와 Devinsky⁴²⁾는 IO이 국소적으로 접형전극 최대치를 나타내는 경우는 모두 내측두엽 간질이었지만, 기타 측두엽 전극에서 동시에 나타날 경우는 내,외 측두엽 간질 모두에서 나타났다고 하였다. Duchowny 등²⁹⁾은 외측두엽 간질 중 후측두엽 간질의 ICEEG에 대해 후측두엽 전극에서 최대치를 나타내었으며, 항상 동측 반구로 먼저 전파하였고, 편축화에는 문제 없었다고 보고하였다. 김요식 등⁴³⁾은 IO에서 델타 파형은 42.7%에서 나타나며 내측두엽에서 가장 많이 나타난 반면 외측두엽에서는 14.3%를 나타내었고, 베타 파형은 내측두엽에서는 나타나지 않았고, 외측두엽에서 14.3% 나타났다고 하였다. 물론 접형전극 최대치가 내측두엽에서 높았으며(59.3 : 42.8%), 특히 내측두엽의 경우는 field가 "wide horizontal and narrow vertical"로 나타난 반면, 외측두엽에서는 "wide vertical and narrow horizontal"로 나타났다고 하였다. Walzack 등³⁰⁾ 내측두엽 간질에서 측두엽에 국소적인 alpha가 90%로 나타났으며, 외측두엽에서는 53%로 나타났다고 하였다. As-

saf 등⁴⁴⁾에 의한 dipole 분석에서도 내측두엽 간질은 "temporal basal source activity"를 외측두엽 간질은 "temporal anterior or posterior source activity"를 나타내었다고 하였다.

Ebersole 등¹⁸⁾은 내측두엽의 경우는 "type 1A : an initial, regular 5- to 9-Hz inferotemporal rhythm >5 sec", "type 1B : similar vertex/parasagittal positive rhythm >5sec", "type 1C : combination of types 1A and 1B rhythms"의 경우 내측두엽을 시사했고, "type 2A : irregular polymorphic 2~5 Hz lateralized activity", "type 2B : type2A followed by type 1A theta", "type 2C : type 2A preceded by repetitive, sometimes periodic sharp waves", "type 3 : seizure without a clear lateralized EEG discharges"의 경우는 외측두엽을 시사한다고 하였다.

주파수나 반복성에 대해서는 심부전극을 이용한 연구는 있으나 아직 두피 전극에서의 ICEEG에 대한 보고는 없다. 그러나, 두피전극의 ICEEG에서도 심부전극의 내용을 생각하면서 판독할 필요는 있다. 이에 대한 내용을 정리하면 내측두엽의 경우 10~16 Hz로 시작하고, 외측두엽은 더 느린 4~10 Hz와 보다 빠른 40~50 Hz로 시작하며, 이것은 해마의 50% 이상의 신경세포 소실과 관계 있다고 하였다.⁴⁵⁾⁴⁶⁾ 경막하 전극에 대한 내용으로 Townsend 등⁴⁷⁾은 1~2 Hz가 내측두엽 시작을 나타낸다고 하며, Aleen 등⁴⁸⁾은 외측두엽의 경우 200 Hz에 이르다고 하였다. 또한 해마의 경우 다양한 주파수를 나타내서 해마와 외측두엽 동시에 나타날 경우는 23 Hz 정도, 해마가 먼저 나타나고 후에 외측두엽에 나타날 경우는 12 Hz 정도로 말하고 있다.⁴⁹⁾⁵⁰⁾ 또한 Ja-

vidan 등⁵¹⁾은 반대측 해마에서의 주파수는 11Hz로 IO 쪽의 주파수 15 Hz 보다는 항상 낮다고 말하고 있다. 주기성(periodicity) 역시 해마의 주요 특징인데, 이것은 CA1의 신경세포 소실과 유의한 관계가 있다고 하였다.⁵²⁾ 또한 주기적 양상(periodic pattern; preictal stage with a transition to ictus: defined by presence of periodic sharp waves or spikes in a rhythmic fashion, with a frequency of less than 2 Hz, lasting at least 5 sec and preceding an ictal onset; paroxysmal sustained rhythm more than 2 Hz)은 내측두엽 간질의 70%에서 나타난다고 알려져 있다.

해마내의 발작 위치에 대한 심부전극을 이용한 보고에 의하면 후측 6~20%이고 20~50%는 해마 내의 국소적으로 발생하며, 미도핵 5~10%, 외측두엽 2~5%로 나타났다.⁵³⁾⁵⁴⁾

전파 방향에 대한 King과 Spencer⁴⁶⁾에 의하면 내측두엽 간질의 경우 60%는 동측 심피질로, 30%는 반대측 해마로, 10%는 반대측 해마와 동측 심피질로 동시에 퍼진다고 하였다. 이에 대한 시간으로 Spencer 등⁵⁵⁾은 반대측으로 전파시간과 CA4 신경세포의 소실과 역비례관계가 있고, 전파시간이 길수록 수술적 예후가 좋다고 하였다.

일반적으로 심부전극과 두피전극의 ICEEG를 비교하면 심부전극의 발작과가 외측두엽으로 퍼진 후 두피전극에서 나타났으며, 이러한 기저, 외측 부위로의 전파는 점차적으로 주파수의 증가를 가져오며, 이러한 결과 IO의 주파수에서 심부전극에서는 델타 파형 범위에 놓여있어도, 두피전극에서는 여전히 세타나 알파 파형 범위로 나타난다고 한다.

2) FLE

전두엽 간질은 두번째로 많은 성인 간질의 원인으로 IN-IC ED 역시 TLE에 비해 불특정하며 비특이적이다 또한 매우 다양하게 나타난다고 알려져 있다.⁵⁶⁾⁵⁷⁾ 특히 정위화가 어려운 원인에 대해 제한된 부위에서 기록할 수 밖에 없고 (inaccessible area: orbitofrontal, mesial frontal, cingulate, supplementary motor area), 광범위한 네트웍으로 빨리 먼 부위로의 전파가 가능하며 (contralateral frontal spread via corpus callosum, temporal spread via uncinate fascicles, parietal spread via superior longitudinal fascicles), 운동성 발작으로 인한 움직임, 압박 및 근육, 안구운동에 의한 압박이 끼기 쉽다는 점을 들 수 있다.²³⁾⁵⁸⁾

FLE의 ICEEG 유형에 대해 "low voltage fast activity", "an incrementing or decrementing rhythm", "repetitive spikes or spikes and slow waves", "rhythmic slow waves", "high voltage sharp waves", "focal or widespread attenuation", "a flattening of the background", "electrical silence" 등 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있다. Salanova 등⁵⁹⁾의 경막하 전극과 비교한 결과를 보면 12명의 환자 중 7명은 두피전극에서는 국소적으로 나타났는데, 경막하 전극에서는 광범위하게, 5명은 두피전극에서는 국소적으로 나타났지만, 경막하 전극에서는 광범위하게 나타났다고 하였다. 이렇게 FLE의 ICEEG는 매우 어려우며 그 의미에 대해서 신중하게 고려해야 하겠다.

3) PLE

두정엽 간질에 대해서는 연구된 바가 적으나 Williamson 등²³⁾은 11례의 환자에서 1명에서만 두피전극이 두정엽 국소화가 가능했고, 3명에서는 편측화가 가능했으며, 8명은 양측성을 나타내었다고 한다는 매우 회의적인 결과를 보고하였다.

4) OLE

후두엽 간질에 대한 보고에 의하면 다른 부위 심피질 간질 ICEEG 보다는 정형화된 "repetitive spikes", "sharp waves", "spike and wave", "rhythmic fast activity"를 나타내지만, 때로는 ICEEG를 정위화할 때 측두엽과 구분이 어렵다. 또한 다양한 전파경로를 나타내지만 영역 17의 경우 뇌량 연결(callosal connection)이 없으며, 영역 18, 19의 경우는 소량 존재하여 반대측 반구로의 전파는 적은 편이며 오히려, 측두엽으로 전파후 반대편으로 전파하는 경향이 있다.⁶⁰⁾⁶¹⁾ 기타 보고에 의하면 ICEEG의 50%는 뒤 1/4쪽으로 국소화 할 수 있었고, 17%에서만 후두엽 발생을 나타내었다고 하였다.⁶²⁾ 심부전극에 의한 보고로는 8례중 4례는 후두엽, 4례는 측두엽으로 나타났다.⁶²⁾ 다른 보고에 의하면 15례중 12례에서 측두엽으로 전파하였다고 보고하였다.²⁴⁾ 경막하전극에 의한 보고에 의하면 5례 모두 후두엽으로 정위화할 수 있었다고 하였다.⁶³⁾ 그러나 김정연 등⁶⁴⁾의 보고에 의하면 8례 중 모두 후두엽측두엽 부위의 발작과를 나타내었으며, 경막하전극에 의한 기록으로는 7례중 3례에서 측두엽 이외의 부위에서 기록되었다고 보고하였다. 따라서 다소 편측화는 용이하지만 정위화에서 측두엽과의 감별에 각별히 주의해야 하며 이를 확인 하기 위해서는 경막하

전극 검사가 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

3. 간질의 원인에 따른 뇌파

간질의 원인에 따른 특징적인 뇌파소견으로는 크게 측두엽 내측 경화증(mesial temporal sclerosis : MTS)과 피질 이형성증(cortical dysplasia : CD) 이외에 뚜렷한 보고는 없다. 일반적으로 구조적인 이상을 동반하는 종양, 해면상 혈관종, 등은 주변에 영향을 미쳐서 발작 병소를 만들며,⁶⁶⁻⁶⁸⁾ 그 기전으로는 압력효과(pressure effects), 허혈증

(localized ischemia), 신경화학적 변화(neurochemical changes)를 들고 있다.⁶⁹⁻⁷¹⁾ 그러나 피질이형성증의 경우는 이상조직 자체의 발작 병소를 만드는 것으로 알려져 있다. 특히 이러한 병변이 있을 경우 이중병소를 해마에도 만들 수 있으므로 이의 확인 후에 수술에 임해야 하겠다.

MTS는 상기한 것과 같이 일반적으로 빠른 주파수의 다양한 양상의 규칙적 세타 파형을 나타내며(Fig. 5a), 발작 전 주기적 발작파(preictal spiking)를 나타내는 특징이 있다.⁸⁰⁾

CD에 대해 MNI의 Palmieri 등⁷²⁾은 세가지 유형의 피질

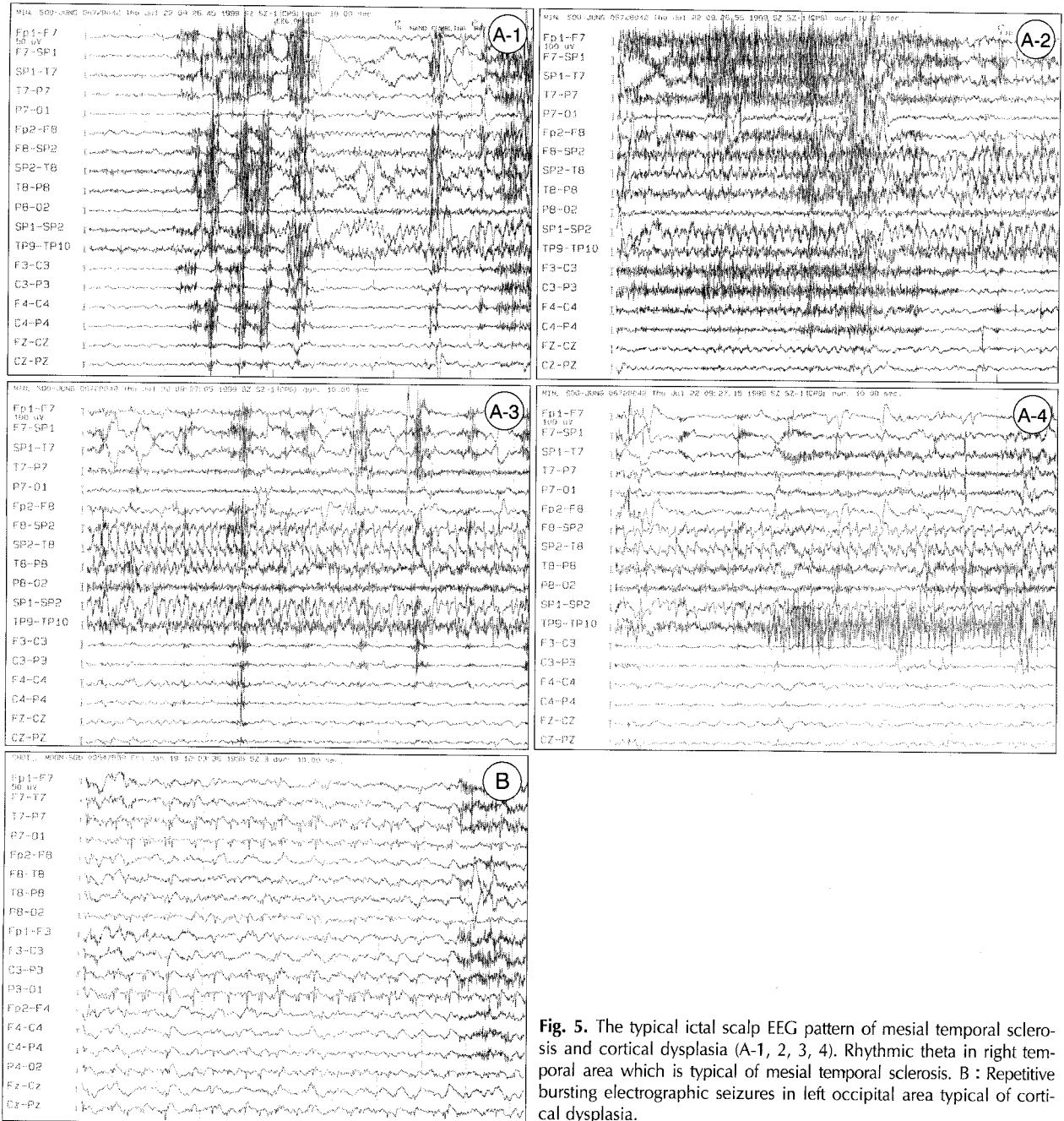


Fig. 5. The typical ictal scalp EEG pattern of mesial temporal sclerosis and cortical dysplasia (A-1, 2, 3, 4). Rhythmic theta in right temporal area which is typical of mesial temporal sclerosis. B : Repetitive bursting electrographic seizures in left occipital area typical of cortical dysplasia.

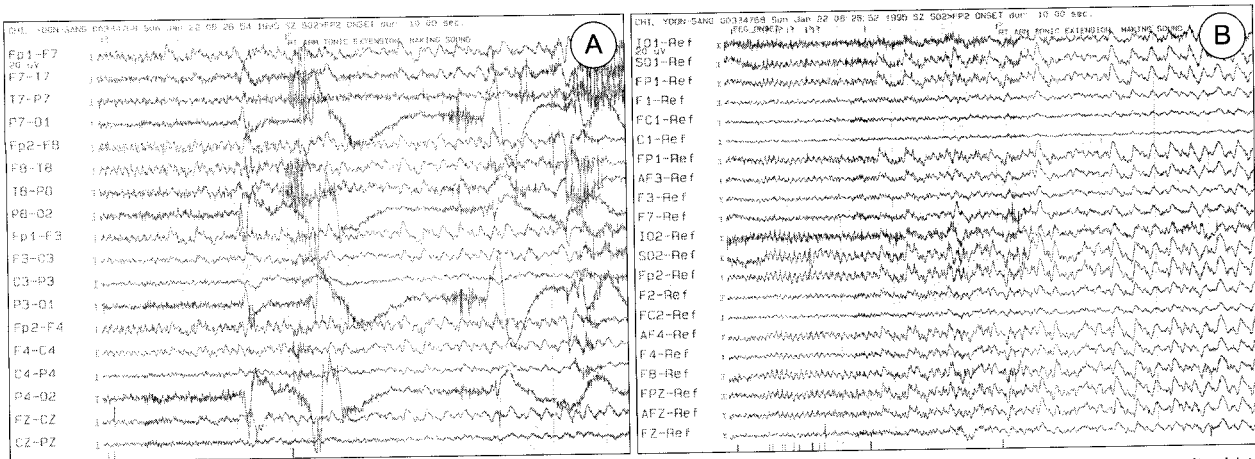


Fig. 6. The supraorbital electrode and infraorbital electrodes helpful in localizing and lateralizing in frontopolar epilepsy. A : Longitudinal bipolar montages show rhythmic theta in bifrontal area (right > left), changing to delta. B : Referential montages reveal the most prominent epileptiform discharges in SO2 and Fp2 electrodes.

뇌파(Electrocorticography : EcoG) 소견을 표시하였는데, 이것을 "ictal or continous ED(I/CEDs)"로 명명하고 67%에서 관찰되었다고 보고하였다(Fig. 5b). 세가지 소견으로 "Repetitive electrographic seizures(Recruiting/De-recruiting pattern)"는 48%, "Repetitive bursting epileptogenic discharges"는 30%, "Continuous or Quasi-continuous rhythmic spikes(1~4 Hz)"는 35%에서 관찰된다고 하였다. 이러한 원인으로는 국소 억제 경로의 손상(some impairment of local inhibitory circuits), GABA계 세포의 감소(decreased GABAergic interneurons)가 원인으로 알려져 있다.⁷³⁾ 이러한 소견과 두피전극 소견과 비교할 때 두피전극 상에 I/CED가 있을 경우 80%에서 ECoG상 관찰할 수 있었으며, ECoG상의 이상이 있었던 50%에서는 두피 전극에서도 나타났다고 보고하였다.

결 어

ICEEG는 심부위치(deep foci), 작게 국한된 부위(sm-

all restricted foci), 멀리 떨어진 부위(distant foci from recording electrodes), 빠른 전파(rapid spread of ED), 잡파에 의한 간섭 작용(contaminating effects of muscle and movement artifacts)으로 인한 다양하고 복잡한 발작파(varied and complex ictal epileptiform activity)를 나타낸다. 또한 판독 의사 간의 차이를 나타낼 수도 있으며, 편측화 및 정위화의 오류가 일어날 수 있다. 그러나 TLE에서는 많은 연구에 의해 어느 정도 좋은 결과를 얻게 되었다. 그러나 아직 extra-TLE에서는 다소 결과가 떨어져 이에 대한 보다 많은 연구가 필요하다. 그렇지만 비디오로 발작의 양상과의 상호 관련성을 비교하여 분석하고, 10~10 전극, 접형전극, 안와상부전극을 적절히 붙인 후 몽타쥬 설정을 잘 하여, 이극성 전후, 좌우 몽타쥬는 물론, 단극성 몽타쥬를 이용하여, 체계적으로 분석하며, 필요시 기능적, 구조적 영상학적 검사의 도움으로 의심되는 부위에 정확히 두개강내 전극을 삽입한 후 기록하여 보다 정확성을 높일 수 있겠다.

중심 단어 : 부분간질 · 두피 뇌파 · 정위화 · 편측화.

REFERENCES

- Berger H. Uber das lektrenkephalogramm des Menschen. *Archiv fur Psychiatrie* 1931; 94:16-60.
- Gibbs EL, Gibbs FA, Fuster B. Psychomotor epilepsy. *Archive of Neurology and Psychiatry* 1948;60:331-9.
- Luders HO, Awad I. Conceptual considerations. In: Luders H, ed. *Epilepsy Surgery*. New York, Raven Press, 1991:51-62.
- Spencer SS, Williamson PD, Bridges SL, et al. Reliability and accuracy of localization by scalp ictal EEG. *Neurology* 1985;35:1567-75.
- Quesney LF, Gloor P. Localizaion of epileptic foci. *EEG Clin Neurophysiol* 1985;37(suppl):165-200.
- Gloor P. Preoperative electroencephalographic investigation in temporal lobe epilepsy: Extracranial and intracranial recordings. *Can T Neurol Sci* 1991;18:554-8.
- Gotman J, Marciani MG. Electroencephalographic spiking activity, drug levels and seizure occurrence in epileptic patients. *Ann Neurol* 1985;17:597-603.
- Marks D, Katz A, Scheyer R, Spencer SS. Clinical and electrographic effects of acute anticonvulsant withdrawal in epileptic patients. *Neurology* 1991;41:508-12.
- Swick CT, Bouthillier A, Spencer SS. Seizure occurrence during long-term monitoring. *Epilepsia* 1996;37(10):927-30.
- Sirven JJ, Liporace JD, French JA, O'Con-

- nor MJ, Sperling MR. Seizures in temporal lobe epilepsy: I. Reliability of scalp/sphenoidal ictal recording. *Neurology (in press)*.
- 11) American EEG Society. Electrode position nomenclature committee. Guidelines for standard electrode position nomenclature. Bloomfield, CT: *American EEG Society*, 1990.
 - 12) American EEG Society. Guideline thirteen: Guidelines for standard electrode position nomenclature. *J Clin Neurophysiol* 1994;11: 111-3.
 - 13) Sperling MR, Engel J Jr. Comparison of nasopharyngeal with scalp electrodes including ear and true temporal electrodes in the detection of spikes. *EEG Clin Neurophysiol* 1984;58: 39.
 - 14) Ives JR, Drislane FW, Schachter SC, et al. Comparison of coronal sphenoidal versus standard anteroposterior temporal montage in the EEG recording of temporal lobe seizures. *EEG and Clin Neurophysiol* 1996; 98:417-21.
 - 15) Abraham D, Ajmone-Marsan C. Patterns of cortical discharges and their relation to routine scalp electroencephalography. *EEG Clin Neurophysiol* 1958;10: 447-61.
 - 16) Steinhoff BJ, So NK, Lim S, Luders HO. Ictal scalp EEG in temporal lobe epilepsy with unitemporal versus bitemporal interictal epileptiform spikes. *Neurology* 1995;45: 889-96.
 - 17) Spencer SS, Spencer DD. Implications of seizure termination localization in temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 1996; 37:455-8.
 - 18) Ebersole JS, Pacia SV. Localization of temporal lobe foci by ictal EEG patterns. *Epilepsia* 1996;37(4): 386-99.
 - 19) Blume WT, Young GB, Lemieux JF. EEG morphology of partial epileptic seizures. *EEG Clin Neurophysiol* 1984;57:295-302.
 - 20) Brekelmans GJF, Boas WE, Velis DN, et al. Mesial temporal versus neocortical temporal seizure: demonstration of different electroencephalographic spreading patterns by combined use of subdural and intracranial electrodes. *Epilepsia* 1995;8: 309-20.
 - 21) Lieb JP, Engel J, Babb TL. Intehemispheric propagation time of human hippocampal seizures I. Relationship to surgical outcome. *Epilepsia* 1986;27(3):286-93.
 - 22) Duchowny MD, Jayakar P, Resnick T, et al. Posterior temporal epilepsy: Electroclinical features. *Ann Neurol* 1994;35: 427-31.
 - 23) Williamson PD, Boon PA, Thadani VM, et al. Parietal lobe epilepsy: Diagnostic considerations and results of surgery. *Ann Neurol* 1992;31:193-201.
 - 24) Williamson PD, Thadani VM, Darcey TM, et al. Occipital lobe epilepsy: Clinical characteristics, seizure spread patterns and results of surgery. *Ann Neurol* 1992;31:3-13.
 - 25) Kaibara M, Bloom WT. The postictal electroencephalogram. *EEG Clin Neurophysiol* 1988;70:99-104.
 - 26) Doring MJ, Spencer DD. Adenosine: A potential mediator of seizure arrest and postictal refractoriness. *Ann Neurol* 1992;32: 618-24.
 - 27) Savic I, Roland P, Sedvall G, et al. In-vivo demonstration of reduced benzodiazepine receptor binding in human epileptic foci. *Lancet* 1988;2: 863-6.
 - 28) Risinger MW, Engel J Jr, Van Ness PC, Henry TR, Crandall PH. Ictal localization of temporal lobe seizures with scalp sphenoidal recordings. *Neurology* 1989;39:1288-93.
 - 29) Engel J, Henry TR, Risinger MW, et al. Presurgical evaluation of partial epilepsy: Relative contributions of chronic depth-electrode recordings versus FDG-PET and scalp-sphenoidal ictal EEG. *Neurology* 1990;40: 1670-7.
 - 30) Walczak TS, Lee NS, Radtke R, et al. Scalp EEG differs in temporal neocortical and hippocampal seizures. *Epilepsia* 1994;35(suppl. 8):134.
 - 31) Ebner A, Hoppe M. Noninvasive electroencephalography and mesial temporal sclerosis. *J Clin Neurophysiol* 1995;12(1):23-31.
 - 31) 이상진 · 김주용 · 남현우. 신피질성 간질에서 발작기 두피뇌파의 유용성. *대한신경과학회지* 1999;17(3):370-5.
 - 32) Sarbrough FW, Cascino GD, Lagerlund TD, So EL, Busacker NE. Laplacian montage: Scalp-recorded frontal spread of temporal lobe seizures {Abstract}. Bloomfield, Connecticut: *American EEG Society*, 1992.
 - 33) Atalla N, Abou-Khalil B, Fakhoury. The start-stop-start phenomenon in scalp-sphenoidal ictal recordings. *EEG and Clin Neurophysiol* 1996;98: 9-13.
 - 34) Blume WT, Kaibara M. The start-stop-start phenomenon of subdurally recorded seizures. *EEG Clin Neurophysiol* 1993;86: 94-9.
 - 35) Fisher RS, Webber WRS, Lesser RP, Arroyo S, Umematsu S. High frequency EEG activity at the start of seizures. *J Clin Neurophysiol* 1992;9: 441-8.
 - 36) Murro AM, Park YD, King DW, et al. Use scalp-sphenoidal EEG for seizure localization in temporal lobe epilepsy. *J Clin Neurophysiol* 1994;11(2): 216-9.
 - 37) Williamson PD, French JA, Thadani VM, et al. Characteristics of mesial temporal lobe epilepsy: II. Interictal and ictal scalp electroencephalography, neuropsychological testing, neuroimaging, surgical results, and pathology. *Ann Neurol* 1993;34:781-7.
 - 38) Patariaia E, Lurger S, Serles W, et al. Ictal scap EEG in unilateral mesial temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 1998;39(6):608-14.
 - 39) So NK, Gloor P, Quesney LF, et al. Depth electrode investigations in patients with bitemporal epileptiform abnormalities. *Ann Neurol* 1989;25: 423-31.
 - 40) Hirsch LJ, Spencer SS, Williamson PD, Spencer DD, Mattson RH. Comparison of bitemporal and unitemporal epilepsy defined by depth of electroencephalography. *Ann Neurol* 1991;30:340-6.
 - 41) O'Briens A, Hoppe M. Noninvasive electroencephalography and mesial temporal epilepsy. *J Clin Neurophysiol* 1995;12(1):23-31.
 - 42) Pacia S, Jung WJ, Devinsky O. Localization of mesial temporal lobe seizures with sphenoidal electrodes. *J Clin Neurophysiol* 1998; 15(3):256-61.
 - 43) 김요식 · 서대원 · 홍승봉. 내측 측두엽 간질과 신피질 측두엽 간질의 발작시 뇌파의 특성. *대한신경과학회지* 1998;16(3):293-301.
 - 44) Assaf B, Ebersole JS. Multiple fixed dipole analysis of scalp ictal rhythm. *Epilepsia* 1995; 36(suppl. 4):143.
 - 45) Spencer SS, Guimaraes, Katz A, Kim J, Spencer DD. Morphological patterns of seizures recorded intracranially. *Epilepsia* 1992; 33:537-45.
 - 46) King D, Spencer S. Invasive electroencephalography in mesial temporal lobe epilepsy. *J Clin Neurophysiol* 1995;12(1):32-45.
 - 47) Townsend JB, Engel J Jr. Clinicopathological correlations of low voltage fast and high amplitude spike and wave mesial temporal SEEG ictal onsets. *Epilepsia* 1991;32(suppl. 3):21.
 - 48) Allen PJ, Fish DR, Smith SJM. Very high frequency rhythmic activity during SEEG suppression in frontal lobe epilepsy. *EEG Clin Neurophysiol* 1992;82:155-9.
 - 49) Lieb JP, Engel J Jr, Brown WJ, Gevin AS, Crandall PH. Neuropathology findings following temporal lobectomy related to surface and deep EEG patterns. *Epilepsia* 1981; 22:539-49.
 - 50) Javidan M, Katz A, Tran T, et al. Frequency characteristics of neocortical apocampal onset seizures. *Epilepsia* 1992;33(suppl. 3):58.
 - 51) Javidan M, Katz A, Pacia S, et al. Onset and propagation frequencies in temporal lobe seizures. *Epilepsia* 1992;33(suppl. 3):59.
 - 52) Spencer SS, Kim J, Spencer DD. Ictal spikes: A marker of specific hippocampal cell loss. *EEG Clin Neurophysiol* 1992;83:104-11.
 - 53) Spencer SS, Williamson PD, Spencer DD, Mattson RH. Human hippocampal seizure spread studies by depth and subdural recording: Hippocampal commissure. *Epilepsia* 1987;28: 479-89.
 - 54) Sperling MR. Clinical challenges in invasive monitoring in epilepsy surgery. *Epilepsia* 1997;38(suppl. 4):S6-S12.
 - 55) Spencer SS, Marks DA, Katz A, Kim J, Spencer DD. Anatomical correlates of interhemispheric seizure propagation time. *Epilepsia* 1992;33: 862-73.
 - 56) Williamson PD, Weiser HG, Delgado-Escueta AV. Clinical characteristics of partial

- seizures. In: Engel J Jr, ed. *Surgical treatment of the epilepsies*. New York, NY Raven Press, 1987:101-20.
- 57) Swartz BE, Walsh GO, Delgado-Escueta AV, Zolo P. Surface ictal electroencephalographic patterns in frontal vs temporal lobe epilepsy. *Can J Neurol Sci* 1991;18:649-62.
- 58) Harvey AS, Hopkins IJ, Bowe JM, Cook DJ, Shield LK, Berkovic SF. Frontal lobe epilepsy: Clinical seizure characteristics and localization with ictal 99mTC-HMPAO SPECT. *Neurology* 1993;43:1966-80.
- 59) Salanova V, Morris H, Van Ness P, et al. Comparison of scalp EEG with subdural electrocorticogram recordings and functional mapping in frontal lobe epilepsy. *Arch Neurol* 1993;50:294-9.
- 60) Van Hoesen GW. The parahippocampal gyrus. New observations regarding its cortical connections in the monkey. *Trends Neurosci* 1982;5:345-50.
- 61) Olivier A, Gloor P, Anderman F, et al. Occipitotemporal epilepsy studied with stereotaxically implanted depth electrodes and successful treatment by temporal resection. *Ann Neurol* 1982;11:428-32.
- 62) Palmieri A, Debeau F, Anderman, et al. Occipital temporal epilepsies: Evaluation of selected patients requiring depth electrode studies and rationale for surgical approach. *Neurology* 1993;34:84-96.
- 63) Blume WT, Whiting SE, Girvin JP. Epilepsy surgery in the posterior cortex. *Ann Neurol* 1991;29:638-45.
- 64) 김정연 · 이병인. 후두엽 간질의 수술적 치료. *대한신경과학회지* 1997;15(6):1247-55.
- 65) 오경미 · 서대원 · 홍승봉 등. DNT로 인한 난치성 간질 환자들의 간질 병소. *대한신경과학회지* 1998;16(4):486-93.
- 66) 윤수진 · 서대원 · 홍승봉 등. 유구낭미충증으로 인한 주변의 간질병소 생성. *대한신경과학회지* 1999;16(5):645-50.
- 67) 서대원 · 홍승봉 · 홍승철, 등. 해면상 혈관종에서의 간질병소에 대한 뇌파, 임상적, 병리적 관계. *대한신경과학회지* 1998;16(3):283-92.
- 68) 서대원. 피질이형성증 간질에서 뇌영상, 뇌파, 병리 및 수술결과의 상관관계. *대한신경과학회지* 1999;16(6):804-9.
- 69) Awad I, Rosenfeld J, Ahl J, et al. Intractable epilepsy and structural lesions of the brain: Mapping, resection strategies, and seizure outcome. *Epilepsia* 1991;32:179-86.
- 70) Boon P, Williamson P, Fried I, et al. Intracranial, intraaxial, space occupying lesions in patients with intractable partial seizures: An anatomoclinical, neuropsychological, and surgical correlation. *Epilepsia* 1991;32:467-76.
- 71) Haglund M, Berger M, Kunkel D, et al. Changes in gamma-aminobutyric acid and somatostatin in epileptic cortex associated with low-grade gliomas. *J Neurosurg* 1992;77:209-16.
- 72) Palmieri A, Gambardella A, Anderman F, et al. Intrinsic epileptogenicity of human dysplastic cortex as suggested by corticography and surgical results. *Ann Neurol* 1995;37:476-87.
- 73) Ferrer I, Pineda M, Tallasa M. Abnormal local circuit neurons in epilepsy partialis continua associated with focal cortical dysplasia. *Acta Neuropathol (Berl)* 1992;82:647-52.