

중심구 부위에서 발생하는 간질의 수술적 치료 *

Surgical Treatment of Epilepsy Originating from Central Sulcus Region

이상구¹ · 홍승철¹ · 홍승봉² · 서대원² · 김종현¹Sang Koo Lee, M.D.¹, Seung-Chyul Hong, M.D.¹, Seung Bong Hong, M.D.²,
Dae Won Seo, M.D.² and Jong Hyun Kim, M.D.¹

ABSTRACT

Purpose : Surgical treatment of intractable seizures originating from central sulcus region as primary motor/sensory area is challenging. Precise localization of epileptogenic zone and adjacent functional areas is essential for successful surgical treatment. We have achieved good seizure control without any further neurological deficit after seizure focus resection in this area. **Methods** : Eight patients of intractable seizures involving central sulcus region (primary motor and/or sensory cortex) were operated upon during the last 22 months. The semiology and the scalp EEG suggested seizures from one side of central sulcus region. MRI, SPECT, and FDG-PET were used as imaging tools for epileptogenic areas. All patients underwent chronic EEG monitoring and functional mapping after subdural electrode insertion prior to the resective procedure. **Results** : MRI was abnormal in 3 cases : one schizencephaly and two small cortical dysplasias. PET showing discrete focal hypometabolism was very useful for localization of epileptogenic region in 3 cases. Resection was designed depending upon the results from the EEG and functional mapping using the subdural electrodes. Extensive resection was performed in two cases : one schizencephaly and one with multi-staged resection. Very restricted resections were done in other six cases to avoid damage to the eloquent area. Multiple subpial transection (MST) was performed in two cases, in the primary motor areas involved in the fine hand movements. All but one patient have become seizure-free so far, for the mean follow up of 22.9 months. There was no further neurological deficit except for very little and transient discomfort in the involved face, hand or leg areas. **Conclusion** : We conclude that resective procedures for the central sulcus region epilepsy can be performed safely only by very meticulous preoperative evaluation and precise localization using chronic subdural electrode EEG monitoring and functional mapping. (J Korean Epilep Soc 2 : 31-36, 1998)

KEY WORDS : Central sulcus · Epilepsy surgery · Functional mapping · Subdural electrode insertion · Multiple subpial transection.

서론

간질은 전체인구에서 차지하는 유병률이 높으면서, 정신-사회적 및 개인에 미치는 영향이 상당하므로^{1,2)} 어떤 방법으로든 적절히 치료되고 관리되어야 한다. 약물치료에도 호전이 없는 이른바 난치성간질에 대한 수술적 치료에 최근 관심이 고조되고 있는데 이는 Penfield의 전기자극에 의한

대뇌피질의 기능적 지도화의 개념정립 이후,³⁾ 자기공명영상(MRI), 뇌혈류나 대사상태를 영상화하는 SPECT나 PET, 비디오-컴퓨터 뇌파 감시기구, Wada검사, 유발전위검사 등 첨단과학의 발달에 힘입어 정확한 간질발생부위를 찾아내어 그발생부위를 기능적 손상없이 절제하는 것이 가능해졌기 때문이다.

간질환자의 수술적 치료의 목적은 기능적, 또는 신경학적 손상이 없이 간질발생부위를 절제하는 것인데, 그부위나 인접부위가 기능적으로 큰 신경결손을 야기하지 않는 부위라면 충분한 사전검사를 통해 간질부위를 확인한 후 바로 그부위를 절제하여 효과를 볼 수 있다. 반면에 일차운동-감각중추를 포함하는 중심구(central sulcus)주위로부터 발생하는 간질의 경우에는 약물치료에 반응을 하지 않아 수술적

*본 연구는 성균관대학교 의과대학 임상의학연구비로 수행되었음.

¹성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경외과학교실.

²신경과학교실

Departments of Neurosurgery¹ and Neurology², College of Medicine, Sung Kyun Kwan University, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

교신저자 : 홍승철, 135-710 서울 강남구 일원동 50번지

TEL : (02) 3410-3493 · FAX : (02) 3410-0048

치료를 고려할 때, 슬후 운동마비 또는 감각마비 등의 중요하고도 심각한 신경결손을 초래할 수 있기 때문에 이러한 경우의 간질수술시에는 정확하고도 면밀한 사전검사와 기능적 해부학적 지식 및 적용, 그리고 재단된 수술(tailored resection)등이 동원되어야 한다.

성균관대의 삼성서울병원에서는 최근 22개월동안 중심구 부위에서 발생하는 간질에에서 정확한 간질유발부위의 국소화와 기능적 영역을 평가하는데 있어 절제수술전 두개강내 경막하 전극삽입에 의한 비디오-컴퓨터 뇌파감시기구를 통해 기능적 지도화를 시행하여 간질발생부위의 절제수술에 도움을 얻고 좋은 결과를 얻었기에 문헌고찰과 함께 보고하고자 한다.

방 법

1. 연구대상

삼성서울병원에서 간질수술을 시작한 1994년 12월부터 1997년 8월말까지 중심구부위의 감각 또는 운동회 근처에서 간질이 발생하는 것으로 판명되어 수술을 시행받은 8명의 난치성 간질환자를 대상으로 입원 및 외래의무기록을 참조하여 검사소견, 수술소견 및 수술후 경과를 후향적으로 조사하였다. 상기 모든 환자에서 간질에 대한 충분한 사전검사를 시행하였다. 즉, 병력청취, 기본적 혈액검사, 두피 뇌파검사, MRI, SPECT 및 PET 검사를 시행하였으며, 절제수술전 침습적 경막하 전극을 사용하여 수일간 지속적 뇌파감시(64-Channel, Vanguard System, OH) 및 전기자극을 이용한 기능적 지도화를 시행하였다. 수술전 편측마비가 있던 한명의 환자를 제외하고는 모두 수술전 신경학적 결손이 없었다.

2. 수술전 사전검사

간질 증상의 발현연령, 간질의 양상(전구증상, 빈도, 증상지속시간, 증상의 변화, 간질발작후 기억유무등)을 외래에서 면밀히 평가하였다. 또한 외상, 열성경련, 항경련제의 복용에 대한 과거력도 포함시켰다. 두피뇌파검사(Scalp EEG)는 외래에서 접형동 전극을 포함하는 64-channel의 4시간 연속검사를 시행하였다. 자기공명영상(MRI)은 T1 강조영상, T2 강조영상 및 조영증강 영상을 이용하여 구조적 병변의 유무를 확인하였다. SPECT는 발작간 또는 발작 당시의 뇌혈류변화를 측정하였으며, 특히 발작시 뇌혈류의

증가가 있는 부위를 간질병소측으로 추정하였다. PET는 18-FDG(Fluorodeoxyglucose)를 이용하여 뇌내 포도당 대사상태를 영상화하여 발작간 저대사상태가 있는 부위를 간질병소측으로 추정하였다.

3. 수술기법

전극삽입을 위한 수술은 일반적인 개두술에 준하여 전신 마취하에 시행하였으며, 본원에서 그동안 시행하던 방법에 준하여 시행하였다.⁴⁾ 두 개 이상의 인접전극이 실비우스열(sylvian fissure)에 평행하게 놓여 전후방향으로 측정할 수 있도록 하였으며, 중심구전후의 전기자극변화가 감지되도록 하였다. 뇌 피질의 여러 구(sulcus)와 정맥과 전극의 모양과의 관계는 수술중 사진촬영을 하여 얻었다(Fig. 1). 2차수술은 경막하 전극에 의한 뇌파발생부위검사와 일차운동-감각영역의 지도화를 면밀히 시행하고 이를 토대로 재단된 절제술을 시행하였고, 손의 정밀한 운동을 지배하는 부위와 같이 기능적으로 매우 중요한 부위는 연막하 피질 다절술(multiple subpial transection)을 동반하여 시술하였다.

4. 전극삽입후의 전기자극

수술후 1일은 중환자실에서 관찰하고, 각각의 환자에서 수술후 두개골 X-ray를 시행한 후 이틀째부터 간질집중감시실에서 뇌파를 지속적으로 기록하며, 수술중 찍은 사진과 통합하여 뇌 지도화의 기본적인 중심구의 위치를 파악하고 절제수술 직전까지 일차운동 및 감각영역의 지도화와 간질 발생부위를 기록하여 절제수술의 간질병소 제거범위의 기초자료를 수집하였다. 기능적 지도화를 위한 뇌자극은

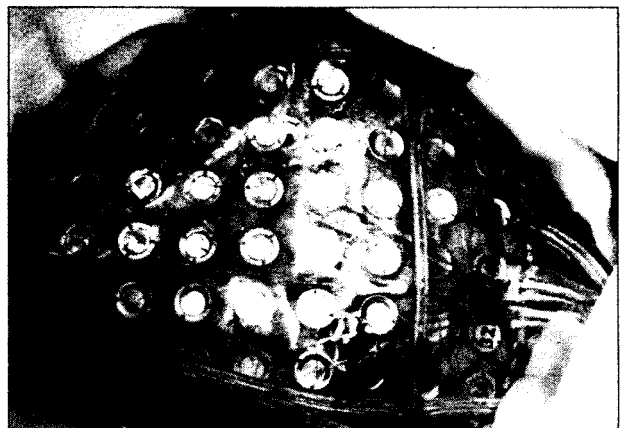


Fig. 1. Intra-operative photograph showing subdural electrode covering the area around central sulcus. We monitored epileptogenic focus after chronic subdural electrode insertion.

GRASS stimulator(Quincy, MASS., USA)를 사용하였으며, 50 Hz의 양-음의 사각파(positive-negative square wave)를 1 mA부터 시작하여 1 mA씩 증가시켜 운동 현상이나 감각증상이 나타나거나 후발사(after discharge)가 나타날때까지 시행하였다. 단, 총 15 mA를 넘지 않도록 하였다. 또한 전류전파를 확인하기 위해 뇌파를 측정하면서 시행하였다. 이러한 뇌 자극은 재현성(reproducibility)을 보장하기 위해 EMU에서 다른 실험자에 의해 2회이상 반복하였다. 전극삽입후 뇌부종발생을 막기 위하여 만니톨을 사용하였으며, 머리를 30도 정도 올려 뇌척수액의 누출을 최소화하였다. 또한 감염을 막기 위해 매일 1~2회 정기적 드레싱 및 항생제 투여를 계속하였다. 얻어진 자료를 토대로 회의를 하여 수술부위를 최종결정하였다.

5. 절제수술후의 환자상태평가

절제수술후 1~2일은 중환자실에서 의식변화, 신경결손 유무를 관찰하였고, 그 다음날 전산화단층촬영을 시행하여 술후 출혈, 부종등의 유무를 평가하였다. 수술후 항경련제의 약물농도를 측정하면서 정맥약물의 용량을 조절하다가 경구용으로 바뀌 퇴원하였고, 외래에서 추적관찰하였다. 외래에서 추적관찰시 운동 및 감각신경검사를 시행하였고, 간질치료성적은 Engel 분류⁵⁾를 사용하여 평가하였다.

결 과

중심구 주변의 간질환자는 총 8례였는데, 남자 3명, 여자 5명이었으며, 평균연령은 23.6세(5~40세)였으며, 참고로 같은 기간에 본원에서 시행한 간질수술예는 150예였다. 평균 증상지속시간은 16.5년이었으며, 증상발현은 평균 7.3세(2~16세)에 발생하였다. 증상은 일차운동-감각영역의 증상이 대부분으로 반대측 상하지 운동성간질이 3예, 감각성

간질이 2예, 복합성 운동-감각간질이 1예였고, 일차 운동-감각영역의 증상이 없는 환자가 2예였는데, 전구증상이 발생한 무긴장발작(atonic seizure)환자 1예와 정신성 전구증상(psychic aura)후 근긴장도의 변화를 거쳐 전신 발작을 일으킨 1예였다. 환자의 증상과 뇌파검사소견은 중심구주변의 반대측이 간질병소의 부위임을 시사해주었다.

자기공명영상의 이상소견은 총 3예였는데, 국소이형성(focal dysplasia) 2예, 열뇌증(schizencephaly) 1예였다. PET검사는 한 예를 제외하고 모두 국소적 저대사상태

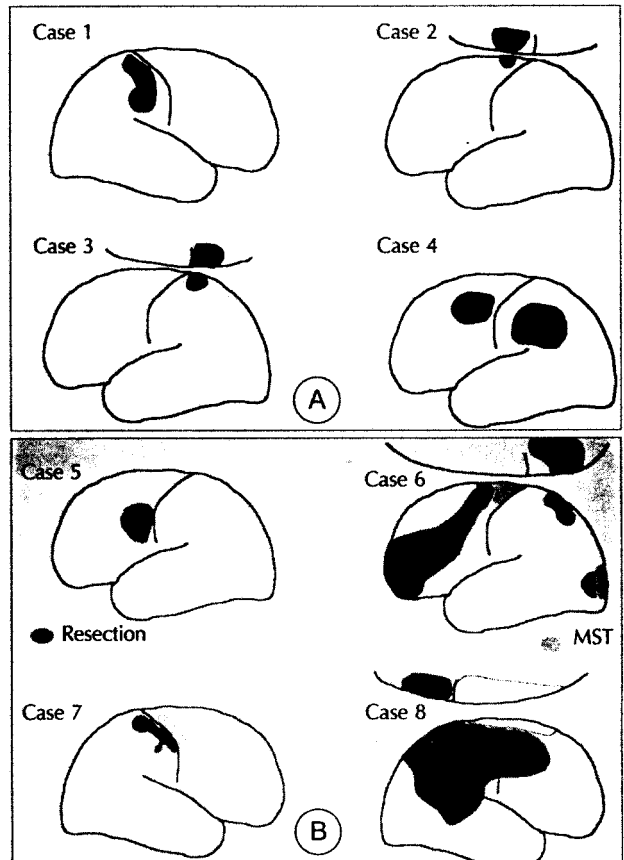


Fig. 2. A, B : Extent of resection in eight cases (MST ; multiple sub-pial transection).

Table 1. Summary of clinical features of 8 epilepsy patients originating from central sulcus region.

Case	Sex/Age	Onset/Duration (years)	Ictal Sx	EEG (max)	MRI	PET	F/U (mo)
1	F/33	11/22	(-)	Cz	WNL	Hypo	30
2	F/7	3/4	Rt.leg M	FCz	WNL	Hypo	28
3	M/40	16/24	Rt.leg S	F1	dysplasia	Hypo	27
4	M/25	6/19	Rt.arm M	F7	WNL	WNL	21
5	F/20	5/15	Rt.face M&S	CP3	dysplasia	Hypo	19
6	F/5	2/3	(-)	FCz	WNL	Hypo	19
7	M/22	11/11	Lt.arm S	C6	WNL	Hypo	17
8	F/37	4/33	Lt.arm & face M	T8, P6	Schizen	Hypo	14

M ; motor S ; sensory

Table 2. Seizure outcome after resective surgery of central sulcus origin epilepsy (Mean follow up period : 22 months)

Engel class	No. of case
I	7
II	1
III	0

를 나타내어 간질병소의 국한 및 발생부위의 추적과 수술시의 위치확정시 유용하였다(Table 1).

8명 모두에서 경막하 전극삽입을 통한 지속적 뇌파감시 및 전기적 자극검사를 시행하였고, 정확한 간질뇌파발생부위와 운동-감각영역의 기능적으로 보존되어야 할 부위를 표시하여 절제를 시행하였다. 3명의 환자에서는 광범위한 절제수술이 가능하였으며, 미세한 수부운동을 담당하는 일차운동영역을 침범하였던 2예에서는 multiple subpial transection을 시행하여 운동기능을 보존할 수 있었다. 이 2예를 포함한 5예는 국소 간질영역이 기능적부위(eloquent area)에 손상을 주지 않도록 재단된 절제수술을 시행하였다(Fig. 2). 연막하 피질 다절술은 2예에서 동반수술하였으며, 주로 수부의 중요 운동영역에서 시행하였다(Fig. 2).

수술후 수술부위에 따라 일시적 상지 또는 하지마비가 3예에서 나타났으나, 외래 관찰결과 영구마비는 관찰되지 않았다. 평균 추적기간은 20.9개월이었으며, 환자의 간질치료성적은 Engel 분류상 Class I이 7예, Class II가 1예였고, Class III이상은 없었다(Table 2).

고 찰

서론에 언급한대로 간질수술의 궁극적 목표는 정상뇌조직의 기능을 최대한 보존하면서 간질발생부위만을 절제하는 것인데, 기능적으로 중요한 부위 즉, 언어, 운동, 감각, 시각, 청각에 관계되는 부위의 수술은 심각하면서도 영구적인 장애를 초래할 수 있다. 저자들은 중심구부위에서 발생하는 8예의 간질환자에서 경막하 전극삽입에 의한 지속적 전기자극후 기능적지도화와 간질병소국화를 기초로 절제수술을 시행하여 좋은 결과를 얻었는데 다음의 사항을 고려하여야 한다.

첫째, 각기능을 담당하는 신경영역이 개인에 따라 차이가 있다.⁶⁾ Sherrington에 따르면,⁷⁾ 전통적으로 대뇌피질은 중심구를 경계로 중심전회(precentral gyrus)가 운동을, 중심후회(postcentral gyrus)가 감각을 담당하며, 중심구가 이를 나누는 기준선이 된다고 하였다. 그러나, Uematsu

등⁸⁾은 중심구 전방에서 감각반응이 60% 정도 나타나고, 후방에서 운동반응이 나타나며, 대부분 운동반응이 중심구 전방 10 mm이내에서 나타나지만, 개인에 따라 40 mm전방에서도 나타남을 관찰하였다. Penfield 와 Boldrey 등⁹⁾은 102개의 수부 운동반응을 조사하였는데 77개에서 전방회, 25개에서 후방회에서 운동반응이 있었으며, 5.5 cm 떨어진 것도 관찰하였다. Nii 등¹⁰⁾은 중심구 전방에 554, 후방에 182곳에 시행하였는데 감각반응이 전방의 3.1%에서 나타났다. 즉 전통적인 개념에 따라 단지 수술시야에서 중심구에서 멀리 떨어져있다고 생각하여 절제술을 시행하는 경우 신경장애를 유발할 가능성이 있으며, 개인의 차이가 있을 수 있으므로 기능적 지도화는 중심구부근의 병변절제를 고려할 때 꼭 필요하다. 본연구에서는 일차운동영역의 범위에 대해 언급하지는 않았지만 저자들의 경험으로는 병변이 있는 경우에는 그다지 광범위하고 불규칙한 분포는 관찰되지 않았다.

둘째, 중심구를 수술중 눈으로 보고 확인하는 것은 부정확하며, 오류를 범할 수 있다. 개두술시 대뇌피질 표면정맥과 여러개의 구(sulcus)와 회(gyrus)가 혼재되어 잘 구분이 안되므로 사전에 MRI를 이용하여 중심구를 찾은 후 한 시야에서 간질발생부위와 운동감각영역이 포함되는 비교적 큰 범위의 개두술을 시행하는 것은 중요하다. 중심구를 찾는 방법은 여러사람에 의해 고안이 되었는데⁶⁾⁷⁾⁹⁾¹⁰⁾¹³⁾ 이러한 방법들은 한계점이 있다. 만일 뇌부종이나 뇌 종양이 있는 병변에서의 수술은 기존의 방법을 이용하여서는 중심구를 찾기가 어려우며, 만약 찾아내더라도 수부의 운동(hand fine movement),⁶⁾⁹⁾¹⁴⁾ 설부의 운동⁷⁾¹⁵⁾과 같이 운동영역에 넓게 퍼져 있으면서 다른 병변에 의해 밀려있다면 수술후 더욱 운동장애를 초래할 가능성은 커진다. 그러므로 경막하 전극의 삽입과 수술중 뇌피질과의 관계에 대한 사진촬영⁶⁾¹⁵⁾은 전기자극결과를 지도화하는데 매우 유용하다.

셋째, 운동감각영역부위에 전극삽입시 중요한 대뇌피질 또는 혈관에 영향을 주지 않도록 Grid를 조심스럽게 올려 놓고, 전극삽입에 의한 신경마비가 발생되지 않도록 수술후 만니틀 사용 및 체위유지, 소독 및 항생제유지를 통해 감염이 발생하지 않도록 하여 지속적인 뇌파집중감시가 유지되도록 하여야 한다.¹⁷⁾

네째, 국소 또는 전신마취상태에서 수술중 전기자극 검사를 시행하는 것보다 전극삽입후 뇌파집중검사실에서 지속적뇌파감시 및 전기자극검사를 시행하여 보다 정확한 간

질원발부위와 기능적 운동-감각영역을 면밀히 검사할 수 있다. Nudo등¹⁾은 상하지의 운동영역의 반응은 각개인별로 차이가 있고, 모자이크 배열을 갖는다 하였고, Nii등²⁾은 33명에 경막하전극을 삽입한후 수부의 운동반응, 감각반응, 복합반응, 정지반응을 전기자극을 시행하여 수부의운동영역은 중심전회에만 국한되어 있지 않고 중심후회에도 있어서 혼재해있다고 주장하였다. 이는 단순히 수술중 국소마취하에 단일자극에 의한 반응을 검사하는 것에 비해 지속적 뇌파감시 및 전기자극검사가 미세한 운동을 관찰하는 비교적 넓은 영역의 수부반응을 지속적으로 반복하여 기록할 수 있으며, 충분한 시간을 갖고 명료한 의식상태로 협조가 잘 되는 상태에서 시행하므로 혼재된 감각이 같이 존재하는 이러한 부위에서 큰 오류를 피할 수 있다. 이러한 관점에서 지속적 전기자극에 의한 지도화는 큰의의를 갖는다. 물론 술중 전기자극은 grid의 각 전극사이가 1 cm로 고정되어 stimulator probe에 비해 세밀함이 떨어질 수 있을 것으로 사료되지만 실제로는 뇌의 기능적, 해부학적 절제단위가 뇌회(gyrus)이므로 결과에 큰 영향을 끼치지 않는 것이다. 뇌자극은 소아나 협조가 잘 안되는 환자에서 그 시행에 어려움이 있으며, 간질발생부위에 대한 뇌파기록이 완전히 끝난후에 항 경련제를 충분히 증강시킨 후 2~3회 반복시행하므로 검사자와 환자에게 정신적, 육체적으로 인내가 요구되는 검사이다. 또한 일차운동, 감각영역이 불분명하거나 예상했던 것과 다른 결과가 나온 때에는 유발전위검사에 의한 중심구의 위치확인이 큰 도움을 주기도 하였다.

본 연구의 임상양상중 흥미로운 것은 환자의 간질발생연령이 평균 7.3세로 매우 어린나이에 증상이 시작되고 장기간(평균 16.5년)에 걸쳐 증상이 있었던 점이다. 이는 중심구 부위에서 발생하는 간질증상이 정신운동발작에 비해 뚜렷한 임상양상을 갖고 있는 것처럼 보이며, 이에 대한 연구를 더 진행할 필요할 것으로 생각한다.

소위 Eloquent area 주위의 병변은 수술적치료가 어려우며, 수술후 신경장애의 가능성이 높아 꺼려왔던 것이 사

실이다. 그렇지만 본 연구에서처럼 중심구 주변 간질환자에서 수술후 결과는 Engel 분류상 I, II에 해당하는 좋은 간질수술성적을 올리면서 영구적 신경장애를 남기지 않았다는 것은 상당히 고무적인 결과이다. 이런 결과는 간질발생이 의심되는 부위와 일차 운동/감각 영역이 존재하는 중심구 주변일 경우 광범위한 전극삽입을 통해 간질발생부위와 주요기능에 대해 정확하게 사전평가를 할 수 있었기 때문으로 생각된다. 또한 수부의 운동영역 근처에서는 multiple subpial transection을 시행하여 수부의 미세한 운동기능을 보존하면서 간질발생부위에서의 간질수술을 시행했다는 것은 고려해 볼만한 치료방법이라 생각한다.

환자의 증상(semiology)이 일차 운동-감각연합영역의 증상인 경우 일반적인 간질검사를 시행하여 간질 원발부위를 알아낼 수는 있지만 두피뇌파는 간질원발부위와 운동-감각연합영역이 겹치는 경우 구분할 수 있는 다른 검사방법이 필요하게 된다. 본 연구에서 MRI는 SPECT나 PET만큼 기능적 변화를 표현하지는 못했으며, SPECT나 PET로 국한된 부위도 운동감각영역을 정확히 알아내기 위해서는 절제수술전 전극삽입후 전기자극검사가 꼭 필요하며, 수술후 환자의 신경결손을 최소화할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

결 론

중심구 부위에서 발생하는 간질은 일차 운동/감각영역이 분포하는 기능적으로 중요한 영역이 간질병소의 근처에 있으므로, 간질수술시 철저한 사전검사와 경막하 전극삽입 후 기능적 지도화의 과정을 거쳐 정확한 간질병소와 기능적부위의 국소화를 통해 수술적치료로 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

중심 단어 : 중심구 · 간질수술 · 기능적 지도화 · 경막하전극삽입 · 연막하 피질 다절술.

- 논문접수일 : 1998년 4월 14일
- 심사완료일 : 1998년 7월 10일

REFERENCES

- 1) Engel JP. Seizures in Epilepsy: *Contemporary Neurology Series*. Philadelphia, EA Davis, 1989: 30-8.
- 2) ILAE Commission Report. The epidemiology of the Epilepsies: Future Directions. *Epilepsia* 1997; 38: 614-8.
- 3) Penfield W, Jasper H. *Epilepsy and the functional anatomy of the human brain*. Boston: Little Brown, 1954: 20-40.
- 4) 홍승철 · 이상구 · 홍승봉 · 서대원 · 이문항 · 김종현. 간질수술과 기능적 지도화를 위한 경막하전극삽입술의 유용성과 문제점. *대한간질학회지* 1997; 1: 92-8.
- 5) Engel J, Van Ness PC, Rasmussen TB, Ojemann LM. Outcome with respect to epileptic seizures. In: Engel J Jr ed. *Surgical treatment of the epilepsies*. New York: Raven press, 1993: 609-22.
- 6) Uematsu S, Lesser R, Fisher RS, et al. Motor and sensory cortex in humans: Topography studied with chronic subdural implantation. *Neurosurg* 1992; 31: 59-72.

- 7) Uematsu S, Lesser RP, Gordon B. Localization of sensorimotor cortex: The influence of Sherrington and Cushing on the modern concept. *Neurosurgery* 1992;30:904-13.
- 8) Penfield W, Boldrey E. Somatic motor and representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain* 1937; 60:389-443.
- 9) Nii Y, Uematsu S, Lesser RP, et al. Does the contral sulcus divide motor & sensory functions. *Neurology* 1996;46:360-7.
- 10) Nudo RJ, Jenkins WM, Merzenich MM, Prejean T, Grenda R. Neurophysiological correlates of hand preference in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *J Neurosci* 1992;12:2918-47.
- 11) Kim SG, Ashe J, Georgopoulos AP, et al. Functional imaging of human motor cortex at high magnetic field. *Journal of Neurophysiology* 1993;69:297-302.
- 12) Devaux B, Meder JF, Missir O, et al. LA ligne rolandique: Une ligne de base simple pour le reperege de la region centrale. *J Neuroradiol* 1996;23:6-18.
- 13) Missir O, Dutheil-Desclercs C, Meder JF, Musolino A, Frey D. Central sulcus patterns at MRI. *J Neuroradiology* 1989;16:133-44.
- 14) Shibasaki H, Sadato N, Lyshkow H. Both primary motor cortex and supplementary motor area play an important role in complex finger movement. *Brain* 1993;116:1387-98.
- 15) Urasaki E, Uematsu S, Gordon B, et al. Cortical tongue area studied by chronically implanted subdural electrodes-with special reference to parietal motor and frontal sensory responses. *Brain* 1994;117:117-32.
- 16) Wood CC, Spencer DD, Allison T, et al. Localization of human sensorimotor cortex during surgery by cortical surface recording of somatosensory evoked potentials. *J Neurosurg* 1988;68:99-111.
- 17) Comair Y, Hong SC, Bleasel AF. Invasive investigation and surgery of the supplementary motor area: The Cleveland Clinic Experience. *Adv Neurol* 1996;70:369-78.