

간질에서의 PET의 임상적인 유용성

Clinical Utility of PET in Epilepsy

이 상 권

Sang Kun Lee, M.D.

1. 배경

PET(Positron Emission Tomography)는 기능적 뇌 영상을 얻을 수 있는 뇌 촬영 방법이다. PET는 적절한 방사선 동위원소의 이용으로 뇌세포의 대사 상태 및 뇌혈류 그리고 기타 뇌세포의 각종 수용체의 상태에 대한 정보를 제공한다. 따라서 이러한 검사 방법은 뇌의 구조적 이상을 보여주는 MRI와는 다른 기능을 갖게되며 상호 보완적인 결과를 보여줄 수 있을 것으로 기대된다. 비록 MRI가 최근에 해상도가 크게 증가하고 있으나 많은 수의 환자에서는 아직도 구조적인 병소를 확인할 수 없는 상태이다. 따라서 국소적인 뇌대사나 뇌혈류의 변화를 감지하는 검사 방법은 간질 병소의 국소화에 이용되는 동영상 뇌파 검사나 구조적 영상의 MRI에 더하여 중요한 역할을 담당할 수 있을 것이다. 이러한 간질 병소의 국소화는 곧바로 난치성 간질 수술의 성공에 가장 중요한 요소가 된다. 또한 뇌혈류를 이용하는 검사를 통하여 다양한 뇌 기능의 국소화 즉 뇌지도의 작성이 가능해진다. 이밖에 수용체를 이용한 검사는 간질 발병의 기전에 대한 연구 자료로 이용될 수 있다.

PET는 장비의 가격이 비싸고 검사비가 많이 들지만 다양한 생리학적 변화의 관찰이 가능하다. 주로 H_2O^{15} 을 이용하여 뇌혈류의 변화를 관찰하고 ^{18}F -deoxyglucose를 사용하여 뇌대사를 보게되며 그외에 benzodiazepine, opiate, 각종 dopamine 수용체에 대한 ligand가 개발되어 있다. 이러한 동위 원소들은 반감기가 2분(^{15}O)에서 110분(^{18}F) 정도이므로 사이클로트론의 설치가 필수적이다. 현재까지 가장 좋은 PET의 해상도는 3~4 mm 정도로 아직 MRI보다는 떨어지는 상황이나 계속해서 개선되고 있는 상황이다.

PET를 이용하여 간질병소의 국소화를 하고자 하는 경

우, 즉 수술치료 목적에 이용하고자 하는 경우에는 간질발작 초점에 있어서 신경 세포의 감소, 신경 전달 체계의 이상에 따른 기능의 변화, 간질 초점 주위의 억제성 신경전달물질의 증가등으로 부분적으로 설명이되는 포도당 대사의 감소를 이용하게된다. 측두엽 간질에 있어서의 효용성은 이미 널리 알려져 있으며 측두엽외의 간질에 관하여는 그동안 뚜렷한 결과가 없으나 최근 해상도가 크게 좋아지면서 MRI에서 구조적 병소가 없는 측두엽의 간질에서도 그 성적이 뚜렷하게 향상되고 있는 상황이다.

2. PET 영상 분석방법

PET 영상의 분석은 정량적, 반정량적, 그리고 정성적 방법으로 가능하다.¹⁻³⁾ PET 영상을 얻으면서 동맥혈을 채취하여 대뇌대사량의 절대치를 계산해 낼 수 있다. 이러한 방법은 연구용으로 주로 이용되며 대부분 눈으로 저대사부위를 찾는 정성적 방법이 이용된다. 최근에는 정성적 방법을 보완하여 좌우의 대사 비율을 구하거나 소뇌의 대사 정도와 비교하는 반정량적 방법이 이용되고 있다.

3. 발작간기의 PET의 결과

발작간의 FDG-PET는 국소적인 포도당 대사의 감소를 나타내고(Fig. 1) 이러한 현상은 측두엽 간질의 경우에 가장 잘 알려져 있으며 발작기 뇌파가 잘 국소화되는 경우도 물론이지만 불확실한 경우에도 약간 적은 빈도에서 국소성의 대사 이상을 확인할 수 있다.⁴⁻⁷⁾ 또 간질 발작쪽이 아닌 반대쪽 측두엽의 이상으로 결과가 나올 가능성은 매우 낮다.⁶⁾⁸⁾⁹⁾ 다만 발작간기의 간질파가 출현하는 횟수에 따라서 검사 결과가 영향을 받을 수 있다.¹⁰⁾

소아의 경우에서도 난치성 측두엽 간질의 경우 성인과 마찬가지로 뛰어난 민감도로 병소를 확인할 수 있다.¹¹⁾ 그러나 최근에 시작된 발작인 경우에는 대사 감소가 뚜렷하지 않은 경우가 많아 반복 지속되는 간질 발작에 의하여 국소적인 신경계의 이상이 심화될 가능성이 제시되고 있다.¹²⁾

서울대학교 의과대학 신경과학교실
 Department of Neurology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea
 교신저자 : 이상권, 110-744 서울 종로구 연건동 28번지
 TEL : (02) 760-2923 · FAX : (02) 744-1785

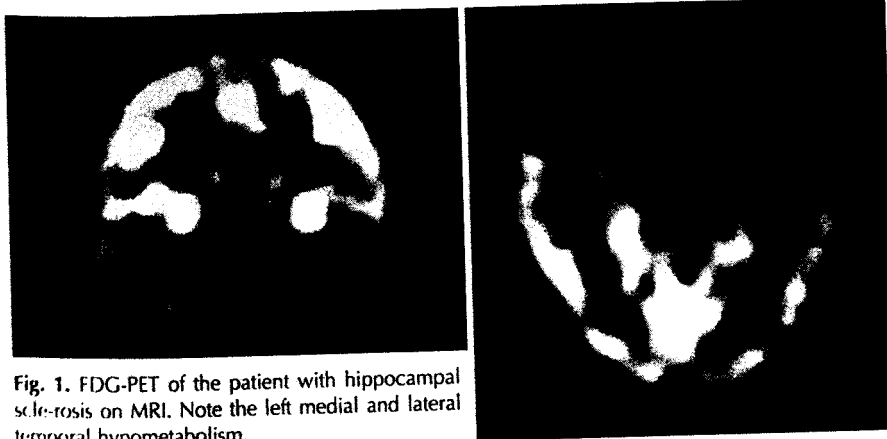


Fig. 1. FDG-PET of the patient with hippocampal sclerosis on MRI. Note the left medial and lateral temporal hypometabolism.

PET에서 관찰되는 국소적인 대사의 감소는 뇌의 구조적인 이상 소견이 있는 부위나 병리학적으로 확인된 이상 부위보다도 더 광범위한 부분에서 관찰된다.¹³⁻¹⁶ 이는 과거 해상도가 낮은 PET에서는 partial volume effect가 영향을 끼친 것으로 보여지며 손상된 신경세포와 연결되어 기능 이상을 보이는 것이 원인이 될 가능성이 있다.^{51,71,81}

이처럼 PET가 측두엽 간질의 대사 감소에 따른 정확한 병소를 지적해 주기는 하지만 측두엽 내에서 외측두엽 간질과 내측두엽 간질을 구별해 주는 등의 역할을 할지에 대하여는 논란이 있다.¹⁰⁰ 그 이유는 내측두엽간질의 경우에서도 내측두보다는 외측두에서 대사가 더 심하게 감소한 소견을 보이기 때문이다.^{13, 100} 최근에 해상도가 증가한 PET를 이용한 결과에서는 내측두와 외측두의 대사 감소가 같았다는 보고도 있다.^{51,71,81} 따라서 소수의 외측두엽 간질 환자에서 외측두에 국한된 대사 감소를 보이는 경우를 제외하고는 PET를 이용하여 내측두엽 간질과 외측두엽 간질을 구별하는 일은 쉽지 않다. 반면에 외측두엽과 내측두엽에 대사가 감소된 부위를 반정량화한 경우에 이 두 증후군의 대사 감소 차이를 확인한 경우도 있다.²⁰⁰

측두엽간질의 경우에 있어서도 측두엽뿐 아니라 전두엽, 시상, 기저핵, 그리고 두정엽등에 대사 감소가 동반될 수 있다.^{17,21,22} 따라서 식은 경우이지만 측두엽 간질환자의 병소 예측의 편측화(lateralization)만이 가능할 수도 있다. 특히 발작기 뇌파가 측두엽에 잘 국한된 경우에도 이러한 현상은 관찰될 수 있다. 그러나 대개는 측두엽의 대사 감소가 가장 뚜렷하게 된다. 동측의 시상의 대사 감소가 40%에서 전두엽과 두정엽의 대사 감소가 30% 정도에서 관찰된다. 시상의 대사 감소는 간질 병소의 편측화 추정에 도움을 줄 수도 있다.

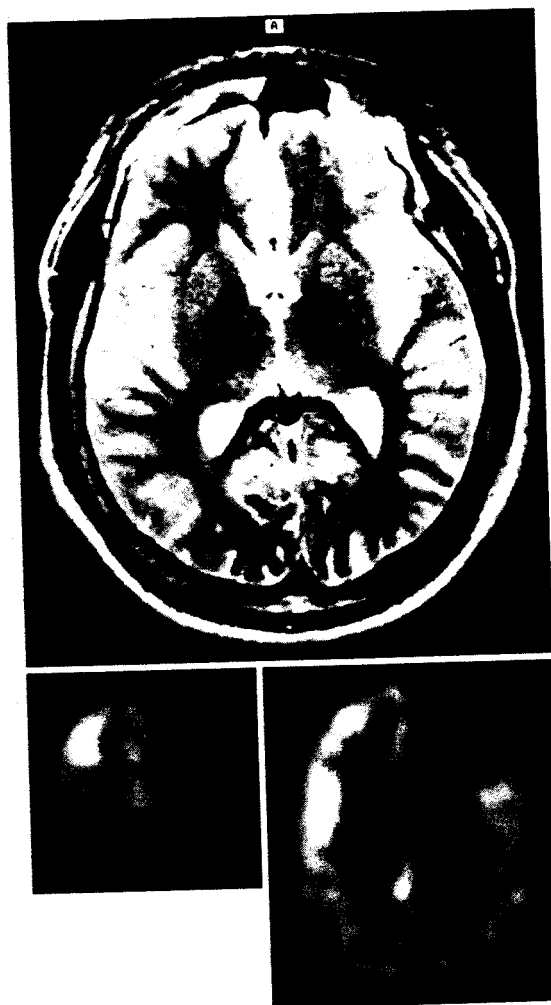


Fig. 2. FDG-PET of the patient with cortical dysplasia on the left frontal lobe. Note subtle blurred demarcation of cortex-white matter junction on MRI and the left frontal hypometabolism on FDG-PET.

PET의 경우에는 해상도가 검사의 민감도에 중요한 영향을 미친다. 측두엽 간질을 제외한 신피질성 간질의 경우에는 초기의 연구 결과는 국소화된 대사 감소를 찾을 가능성

이 단지 3분의 1정도로 보고되었다.¹⁷⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾ 대개는 광범위한 뇌 대사의 감소가 보이거나 정상, 혹은 위양성의 뇌대사 형태를 보인다는 보고가 있어왔다. 그러나 최근의 보고에서는 해상도의 향상과 정량화등을 이용하여 전두엽성 간질에서도 좋은 민감도와 특이도를 보였음이 보고되어 있다.²⁵⁾ 특히 MRI에서 병소가 관찰되는 경우(Fig. 2) 뿐 아니라 병소가 없는 신피질성 간질에서도 국소적인 대사의 감소가 60% 이상에서 관찰된다는 보고도 있다.²⁶⁾ 또 MRI에서 관찰되는 병소의 크기에 비하여 광범위한 영역의 대사 감소가 관찰되는 경우가 흔하다(Fig. 3).

측두엽간질에 있어서 PET의 국소적인 대사저하는 여러 가지 기전으로 설명되어지고 있다. 우선 volumetric MRI를 통하여 측정된 해마의 위축정도와 측두엽 간질에서의 내측과 외측 대사의 감소가 연관성이 있음이 보고되어 있다.²⁷⁾⁽²⁸⁾ 그러나 실제로 절제된 해마의 신경원 수와 대사 감소와는 상관 관계가 크지 않아서 단지 세포수의 감소로 이러한 결과를

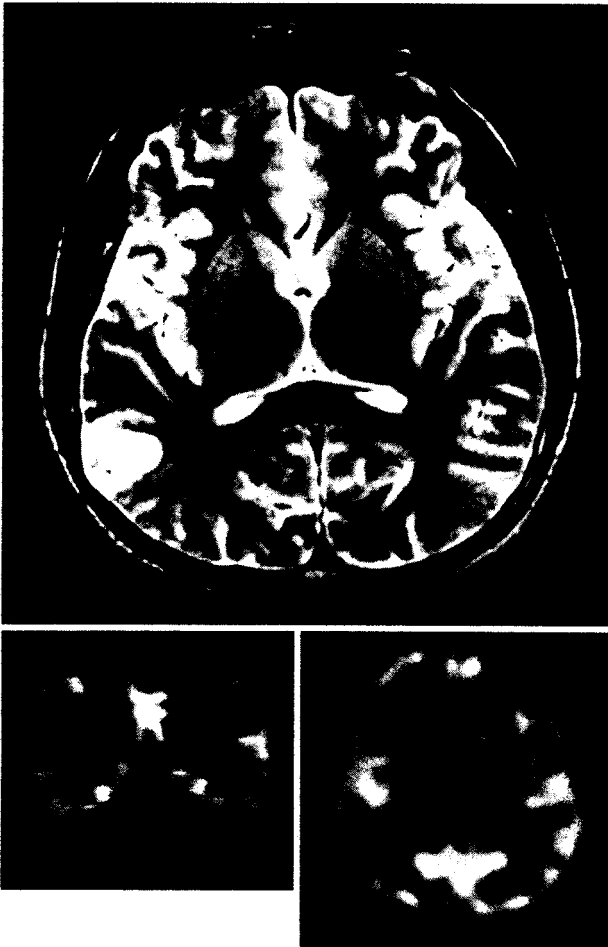


Fig. 3. FDG-PET of the patient with small DNET on MRI. Note more widespread hypometabolism on FDG-PET.

추정하는데는 무리가 있다.²⁹⁾ 이 외에 반복되는 발작으로 인한 발작후 상태의 지속 또 간질 발작 초점에서 기대할 수 있는 신경 시냅스의 교란 등으로 이를 설명하고 있다.³⁰⁾ 실제로 간질 수술후에 측두엽의 부분이나 반대측 대뇌 반구의 대사 상태가 개선되는 점으로 보아 단순한 세포의 소실보다는 신경 시냅스가 중요한 역할을 할 것이라는 짐작을 할 수 있다.³¹⁾

발작간기 PET 영상에서 뇌대사가 오히려 증가한 보고들이 있다. 특히 영아 경축 환자에서 국소적인 뇌대사의 증가 부위가 관찰되고 이 부위가 제거된 경우에 발작이 없는 상태가 되었음이 보고된 바 있다.

4. 발작기 PET의 결과

발작기의 FDG-PET 검사는 대개 우연한 경우에 이루어지며 발작간기의 대사 감소가 있는 부위에 국소적인 대사 증가로 나타나게 된다. 그러나 발작시에는 광범위한 영역에서 간질파가 퍼져있을 가능성이 있으므로 대사 증가 영역이 크게 확대될 수도 있다.³²⁾⁽³³⁾ 복합 부분 발작 간질 중첩 상태를 제외하면 일반적인 복합 부분 발작이나 이차성의 강직간대 발작은 지속 시간이 수분 정도이므로 이때의 PET 결과는 발작기, 발작 직후, 발작간기의 소견이 복합된 영상으로 나타나게 된다.³⁴⁾ 그러나 복합 부분 발작의 중첩 상태의 경우에 검사가 되는 경우에는 국소적인 대사의 증가를 확인할 수 있다.¹⁴⁾⁽³⁵⁾⁽³⁴⁾

5. 뇌 신경 전달 물질 수용체를 이용한 PET의 결과

PET는 간질 병소 부위에 Benzodiazepine 수용체의 감소를 보인다. 특히 측두엽 간질에서 내측두엽에 국한된 감소를 보임으로써 FDG-PET에 비하여 국한된 병소 국소화 성능을 보이고 있다.³⁶⁾⁽³⁷⁾ 이러한 결과는 생리학적 결과는 아니고 내측두엽의 신경 세포 소실을 반영하고 있다.³⁸⁾⁽³⁹⁾

생리학적 변화의 결과로 추정되는 opiate 수용체를 이용한 결과도 있다. Mu-opiate 수용체의 agonist를 이용한 경우(¹¹C-cafetanyl)에서는 측두엽 간질 환자들에서 내측두엽이 아닌 외측두엽에 수용체의 양 뿐만 아니라 결합능이 증가된 소견을 확인하였다.⁴⁰⁾ 그러나 mu 수용체와 kappa 수용체에 공히 결합하는 ¹⁸F-cyclofoxy로는 양 측두엽간의 차이를 확인할 수 없었다.⁴¹⁾ 이러한 결과의 의미는 아직 알 수 없으며 다만 적절한 ligand 선택의 중요성을 말해주고 있다.

6. 수술후 결과 및 타 검사와의 상관 관계

Engel은 FDG-PET와 두피 및 나비뼈 전극을 이용한 발

작기 뇌파 소견. 그리고 심부 전극의 결과를 수술의 결과를 토대로 비교하였다. 두피-나비뼈 전극의 발작기 뇌파 소견은 47%에서 병소의 국소화가 가능하였고 FDG-PET은 60내지 64%. 심부 전극은 93%에서 병소를 정확하게 예측하였다.⁴²⁾ 특히 두피-나비뼈 전극을 이용한 발작기 뇌파 소견과 FDG-PET의 결과가 일치하는 경우는 심부 전극을 이용하여 더이상의 결과를 얻지 못하였음을 밝혔다.

수술이 시행된 환자들의 MRI, PET, 발작기 SPECT의 진단의 민감도를 비교한 연구에서는 내측두엽 간질의 경우 MRI가 92%로 우수하였으나(PET : 82%, 발작기 SPECT : 78%) 신피질성 측두엽 간질의 경우 PET이 88%로 가장 좋은 결과를 보였고(MRI : 56%, 발작기 SPECT : 56%) 그외의 신피질성 간질의 경우에는 MRI, PET, 발작기 SPECT가 각기 56%, 52%, 40%로 관찰되었다.⁴³⁾ 이 경우 발작의 초점을 편측화하는 능력까지 고려하면 PET와 발작기 SPECT는 76%, 84%에 이른다.

몇몇 연구는 발작기 뇌파 소견을 고려하지 않은 상태에서 측두엽 절제술의 수술 결과와 FDG-PET의 상관 관계를 비교하였다.^{44,45)} 결과에서 FDG-PET으로 확인된 대사의 감소가 심한 경우에 예후가 좋음을 확인하였고 특히 외측두엽의 대사 차이가 15% 이상이 되는 경우에 좋은 수술 결과를 얻을 수 있음이 보고되었다. 그밖에 측두엽 외에 다른 부분에 대사 저하가 있는 경우에 수술 결과가 나쁠 가능성이 제기되었다. 측두엽 간질을 제외한 신피질성 간질의 경우에는 아직 많은 결과가 없으며 향후 이에 대한 분석이 필요하리라 예상된다.

7. PET을이용한 신경인지기능의 뇌지도 작성

몇몇 연구에서 Wada 검사 결과와 잘 부합되는 언어중추의 편측화가 H₂O¹⁵을 이용한 PET 검사에서 입증된 바 있다.⁴⁶⁻⁴⁸⁾ 또 두개강내 전극을 이용한 전기자극과 H₂O¹⁵ PET의 결과가 비교연구된 바가 있고 최근에는 기억중추의 뇌지도화 작성에 이용되고 있다(Fig. 4).⁴⁹⁾ 뇌지도의 작성에는 반감기가 2분 정도로 짧은 H₂O¹⁵이 이용되고 인지 자극을 주는 경우와 주지 않은 경우의 통계적으로 유의한 혈류 변화 영역을 표시하게 된다.



Fig. 4. Increased rCBF in working memory activation.

8. 다른 영상과의 Coregistration

정확한 해부학적 영상은 MRI에서 좀더 쉽게 얻어질 수 있으므로 PET 영상과 coregistration을 통하여 두 영상을 결합할 수 있다.⁵⁰⁻⁵⁶⁾ 특히 MRI에서 구조적인 병소가 있는 경우에 병소주위의 대사 변화를 확인할 수도 있다. 또 PET을 이용한 뇌지도 작성에는 통계적으로 유의하게 뇌혈류가 증가된 부위를 공간정규화된 MRI 영상에 표시하게 된다.

9. 전반성 간질에서의 FDG-PET

전반성 간질의 발작간기에서는 국소적인 대사 감소 영역을 찾을 수 없다.^{57,58)} 발작기에서는 전반적이고 광범위한 영역의 대사 증가가 관찰된다.⁵⁹⁾ 이 경우에도 absence epilepsy의 경우에서 시상 부위의 대사 증가가 다른 영역보다 큰 것을 제외하고는 국소적인 대사 증가를 찾을 수는 없다.⁶⁰⁾

10. 결 론

이상과 같은 결과에서 PET은 간질 병소의 국소화 성능에 있어서 상당히 우수한 성적을 보이고 있으며 특히 MRI와 보완적으로 작용하여 수술 성적의 향상에 기여하리라고 생각된다. 향후에는 혈류와 포도당대사 뿐 아니라 신경 전달 물질의 수용체 농도를 이용하여 신경세포의 밀도를 영상화할 필요가 있으며 간질 발생의 기전 연구에도 이용될 수 있을 것이다.

중심 단어 : PET · 간질.

■ 감사의 글

사진을 제작해주신 서울대학교병원 핵의학과 김석기 선생님, 이동수 교수님께 감사드립니다.

- 논문접수일 : 1998년 12월 22일
- 심사완료일 : 1999년 1월 25일

REFERENCES

1) Abou-Khail BW, Siegel GJ, Sackellares JC, et al. PET studies of cerebral glucose metabolism in chronic partial epilepsy. *Ann Neurol* 1987;22:480-6.

2) Henry TR, Mazziotta JC, Engel J Jr, et al. Quantifying interictal metabolic activity in human temporal lobe epilepsy. *J Cereb Blood Flow Metab* 1990;10:748-57.

3) Theodore WH, Fishbein D, Dubinski R. Patterns of cerebral glucose metabolism in pat-

- ietns with partial seizures. *Neurology* 1988; 38:1201-6.
- 4) Engel J, Henry T, Risinger MW, et al. Presurgical evaluation for epilepsy: Relative contributions of chronic depth electrode recordings versus FDG-PET and scalp-sphenoidal EEG. *Neurology* 1990;40:1670.
 - 5) Theodore WH, Sate S, Kufta C, et al. Temporal lobectomy for uncontrolled seizures: The role of positron emission tomography. *Ann Neurol* 1992;32:789.
 - 6) Benbadis SR, So NK, Antar MA, et al. The value of PET scan (and MRI and Wada test) in patients with bitemporal epileptiform abnormalities. *Arch Neurol* 1995;52:1062.
 - 7) Rowe CC, Berkovic SF, Sia STB, et al. Localization of epileptic foci with postictal single photon emission computed tomography. *Ann Neurol* 1989;26:660.
 - 8) Ho SS, Berkovic SE, Berlangieri SU, et al. Comparison of ictal SPECT and interictal PET in the presurgical evaluation of temporal lobe epilepsy. *Ann Neurol* 1995;37:738.
 - 9) Sperling MR, Alavi A, Reivich M, et al. False lateralization of temporal lobe epilepsy with FDG positron emission tomography. *Epilepsia* 1995;36:722.
 - 10) Roh SY, Hong SB, Kim SE. 18FDG-PET with intra-PET EEG monitoring in temporal lobe epilepsy. *J Korean Neuro Assoc* 1995(suppl):13:62.
 - 11) Gaillard WD, White S, Malow B, et al. FDG-PET in children and adolescents with epilepsy: Role in epilepsy surgery evaluation. *Epilepsy Res* 1995;20:77.
 - 12) Gaillard WD, Conry J, Weinstein S, et al. FDG-PET in children with new-onset partial seizures[abstract]. *Epilepsia* 1995;36(Suppl 4):S163.
 - 13) Engel J Jr, Kuhl DE, Phelps ME, Mauiotta JC. Interictal cerebral glucose metabolism in partial epilepsy and its relation to EEG changes. *Ann Neurol* 1982;12:510.
 - 14) Theodore WH, Newmark ME, Sate S, et al. 18-F-Fluorodeoxyglucose positron emission tomography in refractory complex partial seizures. *Ann Neurol* 1983;14:429.
 - 15) Sackellares JC, Siegel GJ, Abou-Khalil BW, et al. Differences between lateral and mesial temporal hypometabolism interictally in epilepsy of mesial temporal origin. *Neurology* 1990;40:1420.
 - 16) AboU-Khalil BW, Siegel GJ, Sackellares JC, et al. Positron emission tomography studies of cerebral glucose metabolism in chronic partial epilepsy. *Ann Neurol* 1987;22:480.
 - 17) Henry TR, Mazziotta JC, Engel JP, et al. Quantifying interictal metabolic anatomy in human temporal lobe epilepsy. *J Cereb Blood Flow Metab* 1990;10:748.
 - 18) Theodore WH, Fishbein D, Dubinsky R. Patterns of cerebral glucose metabolism in patients with partial seizures. *Neurology* 1988; 38:1201.
 - 19) Hajek M, Antonini A, Leenders KL, Wieser WG. Mesialbasal versus lateral temporal lobe epilepsy: Metabolic differences in the temporal lobe shown by interictal: 18F-FDG positron emission tomography. *Neurology* 1993; 43:79.
 - 20) Yun CH, Lee SK, Kim SK, et al. Semiquantitative analysis of FDG-PET in medial and lateral temporal lobe epilepsy. *J Korean Neuro Assoc* 1997(suppl):15:216.
 - 21) Holmes MD, Kelly K, Theodore WH. Complex partial seizures: Correlation of clinical and metabolic features. *Arch Neurol* 1988; 45:1191.
 - 22) Henry TR, Mazziotta JC, Engel JP. Interictal metabolic anatomy of mesial temporal lobe epilepsy. *ArchNeurol* 1993;50:582.
 - 23) Swartz BE, Halgren E, Delgado-Escueta AV, et al. Neuroimaging in patients with seizures of probable frontal origin. *Epilepsia* 1989; 30:547.
 - 24) Radtke RA, Hanson MW, Hoffman JM, et al. Positron emission tomography: Comparison of clinical utility in temporal lobe and extratemporal epilepsy. *J Epilepsy* 1994;7:27.
 - 25) waftz BE, Khonsari A, Brown C, et al. Improved sensitivity of 18FDG-positron emission tomography scans in frontal and "frontal plus" epilepsy. *Epilepsia* 1995;36:388.
 - 26) Bae HJ, Lee SK, Lee DS, et al. The role of FDG-PET in presurgical evaluation of neocortical epilepsy. *J Korean Neuro Assoc* 1997 (supl):15:216.
 - 27) Gaillard WD, Bhatia S, Bookheimer SY, et al. FDG-PET and MRI volumetry in partial seizure focus localization. *Neurology* 1995; 45:123.
 - 28) Semah E, Baulac M, Hasboun D, et al. Is interictal temporal hypometabolism related to mesial temporal sclerosis? A positron emission tomography/magnetic resonance imaging confrontation. *Epilepsia* 1995;36:447.
 - 29) Henry TR, Babb TL, Engel J, et al. Hippocampal neuron loss and hypometabolism in temporal lobe epilepsy. *Ann Neurol* 1994;36: 925.
 - 30) Sloviter RS. The functional organization of the hippocampal dentate gyrus and in relevance to the pathogenesis of temporal lobe epilepsy. *Ann Neurol* 1994;35:640.
 - 31) Hajek M, Wieser HG, Khan N, et al. Preoperative and postoperative glucose consumption in mesialbasal and lateral temporal lobe epilepsy. *Neurology* 1994;44:2125.
 - 32) Handforth A, Finch DM, Peteres R, et al. Interictal spiking increases 2-deoxy ¹⁴C glucose uptake and c-fos-like reactivity. *Ann Neurol* 1994;35:724.
 - 33) Handforth A, Cheng JT, Mandelkern MA, Treiman DA. Markedly increased mesiotemporal lobe metabolism in a case with PLEDs: Further evidence that PLEDs are a manifestation of partial status epilepticus. *Epilepsia* 1994;35:876.
 - 34) Engel J Jr, Kuhl DE, Phelps ME, et al. Local cerebral metabolism during partial seizures. *Neurology* 1983;33:400.
 - 35) Engel J Jr, Kuhl DE, Phelps ME. Patterns of human local cerebral glucose metabolism during epileptic seizures. *Science* 1982; 218:64.
 - 36) Henry TR, Frey KA, Sackellares JC, et al. In vivo cerebral metabolism and central benzodiazepine receptor binding in temporal lobe epilepsy. *Neurology* 1993;43:1998.
 - 37) Savic I, Ingvar M, Stone-Elander S. Comparison of (¹⁴C)flumazenil and (¹⁸F)FDG as PET markers of epileptic foci. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1993;56:615.
 - 38) Johnson EW, de Lanerolle NC, Kim JH, et al. Central and peripheral benzodiazepine receptors: Opposite changes in human epileptogenic tissue. *Neurology* 1992;42:811.
 - 39) Burdette DE, Sakuri SY, Henry TR, et al. Temporal lobe central benzodiazepine binding in unilateral mesial temporal lobe epilepsy. *Neurology* 1995;45:934.
 - 40) Frost JJ, Mayberg HS, Fisher RS, et al. Mu-opiate receptors measured by positron emission tomography are increased in temporal lobe epilepsy. *Ann Neurol* 1988;23:231-7.
 - 41) Theodore WH, Blasberg R, Leiderman D, et al. PET imaging of opiate receptor binding in human epilepsy using 18F-cyclofloxy. *Neurology* 1990;40(suppl 1):257. Abstract.
 - 42) Engel J Jr, Henry TR, Risinger MW, et al. Presurgical evaluation for epilepsy: Relative contributions of chronic depth-electrode recordings versus FDG-PET and scalp-sphenoidal ictal EEG. *Neurology* 1990;40:1670-7.
 - 43) Kim JY, Lee SK, Lee DS. The localizing value of MRI, PET, and ictal SPECT in surgically treated epileptic patients. *J Korean Neuro Assoc* (suppl)1997;15:219.
 - 44) Theodore WH, Gaillard WD, Sato S, Kufta C, Leipderman D. PET measurement of cerebral blood flow and temporal lobectomy. *Ann Neurol* 1994;36:241-4.
 - 45) Theodore WH, Sato S, Kufta C, Balish MB, Bromfield EB, Leiderman DB. Temporal lobectomy for uncontrolled seizures: The role of positron emission tomography. *Ann Neurol* 1992;32:789-94.
 - 46) Pardo JV, Fox PT. Preoperative assessment of cerebral hemispheric dominance for language with CBF PET. *Human Brain Mapping* 1993;1:57-63.
 - 47) Henry TR, Buchtel HA, Pennell PB, et al. Naming activation of CBF before epilepsy surgery and naming deficits after left temporal lobectomy. *Neurology* 1997;48:A243.
 - 48) Hunter KE, Blaxton TA, Bookheimer SY, et al. O¹⁵ PET in language localization. *Neurology* 1997;48:A242.
 - 49) 이재성 · 이동수 · 이상건 등. H₂O¹⁵양전자단층

- 촬영을 이용한 뇌기능 지도의 작성(2): 작업기
역의 지도작성. 대한해의학회지 1998;32:238-
49.
- 50) Meltzer CC, Bryan RN, Holcomb HH, *et al.* Anatomical localization for PET using MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1995;14:418-26.
- 51) Fox PT, Perimutter JS, Raichie ME. A stereotactic method of anatomical localization for PET. *J Comput Assist Tomogr* 1985;9:141-53.
- 52) Henry TR, Engel J, Nazziotta JC. PET studies of functional cerebral anatomy un human epilepsy. In: Meldrum BS, Ferrendelli JA, Wieser HG, eds. Anatomy of Epileptogenesis. London, England: John Libbey Eurotext, 1988:155-78.
- 53) Dann R, Hoford J, Kovack S, *et al.* Evaluation of elastic matching system for anatomic and functional cerebral images. *J Comput Assist Tomogr* 1989;13:603-11.
- 54) Levin DN, Pelizzari CA, Chen GTY, *et al.* Retrospective geometric correlation of MR, CT, and PET images. *Radiology* 1988;169:817-23.
- 55) Woods RP, Mazziotta JC, Cherry SR. MRI-PET registration with automated algorithm. *J Comput Assist Tomogr* 1993;17:536-46.
- 56) Friston KJ, Frith CD, Liddle PF, *et al.* Comparing PET images: The assessment of significant change. *J Cereb Blood Flow Metab* 1991;11:690-9.
- 57) Theodore WH, Brooks R, Sato S, *et al.* PET in generalized seizures. *Neurology* 1985;35:684-90.
- 58) Engel J Jr, Lubens P, Khul DE, *et al.* Local cerebral metabolic rate for glucose during petit aml absences. *Ann Neuro* 1985;17:121-8.
- 59) Ochs RF, Gloor P, Tyler JL, *et al.* Effect of generalized s-and-w discharges on glucose metabolism measured by PET. *Ann Neurol* 1987;21:458-64.
- 60) Prevett MC, Duncan JS, Joens T, *et al.* Demonstration of thalamic activation during typical absence seizures using H₂O¹⁵ PET. *Neurology* 1995;45:1396-402.