

Epilepside Manyetoensefalografinin Rolünün Tekrar Değerlendirilmesi

Revisiting the Role of Magnetoencephalography in Epilepsy

Christoph BAUMGARTNER,^a
Ekaterina PATARAIA^a

^aDepartment of Clinical Neurology,
Medical University of Vienna,
AUSTRIA

Yazışma Adresi/Correspondence:
Christoph Baumgartner MD,
Department of Clinical Neurology,
Medical University of Vienna,
Währinger Gürtel 18-20,
A-1090 Vienna, AUSTRIA
christoph.baumgartner@meduniwien.ac.at

Current Opinion in Neurology 2006, 19:181-186

Kısaltmalar

ATH	anterior temporal yatay
ATV	anterior temporal dikey
EEG	elektroensefalografi
MEG	manyetoensefalografi
MRG	manyetik rezonans görüntüleme
SNR	sinial gürültü oranı
TLE	temporal lob epilepsi

© 2006 Lippincott Williams & Wilkins
1350-7540

ÖZET Derlemenin amacı: Bu derleme klinik epileptolojide manyetoensefalografinin güncel rolünü değerlendirmektedir. **Son bulgular:** Manyetoensefalografi ve elektroensefalografi interiktal diken dalga saptanması açısından birbirini tamamlamaktaysa da, manyetoensefalografi neokortikal epilepside daha duyarlıdır. Temporal lob epilepside, manyetoensefalografi ile epileptik aktivite temporal lobun alt kompartmanlarına atfedilebilir mezial, lateral ve diffüz başlangıçlı nöbetlerin ayırıcı tanısı yapılabilir. Ekstratemporal epilepside, manyetoensefalografi lezyonsuz olgularda benzersiz bilgiler sağlar ve lezyonlara ve kortekse göre epileptik aktivitenin ilişkisinin tanımlanmasına yardımcı olur. Manyetoensefalografi aynı zamanda kortikal displazileri, Landau-Kleffner sendromu ve epilepsi cerrahisi sonrasında tekrarlayan nöbetleri olan hastalarda klinik karar sürecine de katkıda bulunur. Manyetik rezonans görüntülemenin manyetoensefalografi önderliğinde tekrardan değerlendirilmesi sonucunda daha önceden fark edilmemiş lezyonlar gündeme gelebilir. Cerrahi öncesindeki interiktal manyetoensefalografi kafa derisi elektroensefalografisine göre üstündür. Manyetoensefalografi ile tanımlanmış "irritatif zon"un tam rezeksiyonunun postoperatif nöbet kontrolü üzerinde prognoz açısından etkileri vardır. Manyetoensefalografi ile duysal-motor ve dil korteksi güvenli bir şekilde lokalize edilebilir. Bu tekniğin dezavantajları arasında iktal kayıt almanın güçlüğü ve maliyetin yüksekliği yer almaktadır. **Özet:** Manyetoensefalografi klinik epileptolojide kıymetli ve girişimsel olmayan bir araç olarak geliştirilmiştir. Hem manyetoensefalografiyi hem de elektroensefalografiyi eş zamanlı olarak hesaba katan yaklaşımların geliştirilmesi gelecekte daha faydalı bilgiler elde edilmesini sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Epilepsi, epilepsi cerrahisi, dil, manyetoensefalografi, cerrahi öncesi değerlendirme

ABSTRACT Purpose of review: This review considers the current role of magnetoencephalography in clinical epileptology. **Recent findings:** While magnetoencephalography and electroencephalography complement each other for interictal spike detection, magnetoencephalography is more sensitive in neocortical epilepsy. In temporal lobe epilepsy, magnetoencephalography can attribute epileptic activity to subcompartments of the temporal lobe and differentiate between patients with mesial, lateral and diffuse seizure onsets. In extratemporal epilepsy, magnetoencephalography provides unique information in nonlesional cases and helps to define the relationship of epileptic activity with respect to lesions and eloquent cortex. Magnetoencephalography also contributes to the clinical decision process in patients with cortical dysplasias, Landau-Kleffner syndrome and recurrent seizures after prior epilepsy surgery. Magnetoencephalography-guided reevaluation of magnetic resonance imaging helps to reveal previously unrecognized lesions. In a presurgical setting interictal magnetoencephalography was superior to scalp electroencephalography. Complete resection of the magnetoencephalography-defined irritative zone has prognostic implications on postoperative seizure control. Magnetoencephalography can reliably localize sensorimotor and language cortex. Disadvantages of this technique include the difficulties in obtaining ictal recordings and the considerable costs involved. **Summary:** Magnetoencephalography has been developed to a valuable noninvasive tool in clinical epileptology. The development of approaches which take into account both magnetoencephalography and electroencephalography simultaneously should provide more useful information in the future.

Key Words: Epilepsy, epilepsy surgery, language, magnetoencephalography, presurgical evaluation

Türkiye Klinikleri J Neur 2008;3:105-112

Copyright © 2008 by Türkiye Klinikleri

Manyetoensefalografi (MEG), nörolojik bilimlerde 35 yıldan uzun süredir kullanılan ileri derecede duyarlı ölçüm cihazları – aşırı iletken kuantum çıkarsama cihazları (“superconducting quantum inference devices”) (SQUIDler) – yoluyla beynin zayıf manyetik alanlarının ölçülmesine olanak tanır.¹ Bununla birlikte yakın zaman öncesinde kafanın tamamına uygulanan manyetoensefalografi (MEG) sistemlerinin ve klinik ortamda manyetoensefalografi kullanılmasını kolaylaştıran kullanıcıya dost analiz tekniklerinin geliştirilmesi gibi teknolojik gelişmeler söz konusu olmuştur. Elektroensefalografi (EEG) ve manyetoensefalografi, kortikal piramidal hücrelerde eş zamanlı sinaptik potansiyeller adı verilen aynı nörofizyolojik sürece bağlı olarak geliştirilse de, manyetoensefalografinin geleneksel kafa elektroensefalografisine kıyasla bazı kavramsal avantajları vardır.

- (1) Manyetik alanlar kafa tasının ve kafa derisinin direnç özelliklerinden daha az etkilenirler ve bunun sonucunda manyetoensefalografinin uzaysal rezolüsyonu daha iyi olur.
- (2) Kafa derisinden çekilen elektroensefalografi mevcut kaynağın hem tangential hem de radial bileşenlerine, sulkuslardaki ve kortikal girusların üst ve alt bölümlerindeki aktivitelere karşı duyarlıyken manyetoensefalografi ile sadece tangential bileşenleri saptanır ve bu nedenle seçici olarak sulkuslardaki aktiviteyi ölçer.
- (3) Kafa derisinden yapılan elektroensefalografi hücre dışı hacim akımlarına karşı hassasken, manyetoensefalografi temel olarak hücre içi akımlara bağlı meydana gelen manyetik alanları saptar.^{2,3}
- (4) Manyetoensefalografi ham verilerinde kayıt yapılan çeşitli bölgelerde ölçülmüş manyetik alanların boyutlarını temsil eden traselerden veya grafik elemanlarından oluşmaktadır. Bu ham verilerin yorumu kaynak modelleme teknikleriyle anlamlı bir şekilde geliştirilebilir, böylece üç boyutlu serebrum içi lokalizasyonlarda, oryantasyonlarda ve altta yatan nöronal kaynakların zaman aktivitelerinde geriye doğru hesaplama yapılabilir ve bu kaynaklar man-

yetik rezonans görüntüleriyle üst üste bindirilerek – ‘manyetik kaynak görüntüleme (MSI)’ oluşturulabilir.⁴ Kafa derisi elektroensefalografi için de kaynak modelleme teknikleri mevcuttur, manyetoensefalografi kaynak modelleme genellikle daha basittir ve teknik nedenlerle daha doğru sonuç verir.

Bu derlemede bu teorik avantajların klinik uygulamalara nasıl dönüştürüleceği değerlendirilmiş ve klinik epileptolojideki güncel manyetoensefalografi çalışmaları özetlenmiştir.

■ Kafa Derisi ELEKTROENSEFALOGRAFİYE KİYASLA MANYETOENSEFALOGRAFİNİN DUYARLILIĞI

Bazı güncel çalışmalarda eş zamanlı ölçümler kullanılarak manyetoensefalografi ve kafa derisi elektroensefalografinin duyarlılığı karşılaştırılmış ve bu iki tekniğin göreceli avantajları değerlendirilmiştir.^{5-7,8} Bu çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir. Çoğu hastada diken dalgalar hem manyetoensefalografide hem de elektroensefalografide saptanabilirken,^{5,6} seçilmiş hastalarda diken dalgalar sadece manyetoensefalografide veya elektroensefalografide görülebilir.^{7,8} Bireysel ani voltaj yükselmeleri elektroensefalografide ve manyetoensefalografide kendiliğinden görülebilir veya belli bir dereceye kadar sadece manyetoensefalografide ya da elektroensefalografide saptanabilir.^{5-7,8} Manyetoensefalografi ve elektroensefalografi, bu nedenle, interiktal diken dalgalarının saptanmasında birbirlerini tamamlarlar; bu iki tekniğin kombinasyonu tek başına hallerinden daha duyarlıdır. Manyetoensefalografi neokortikal epilepsilerde elektroensefalografiden daha duyarlıdır, başa çıkılması güç epilepsi sendromlarında manyetoensefalografinin önemli bir uygulanma alanı olabilir.^{5,6} Yakın zaman önce farklı beyin bölgelerindeki hipotetik kaynakların sinyal gürültü oranını (SNR) karşılaştıran modele dayalı bir yaklaşım kullanılarak manyetoensefalografi ve elektroensefalografi duyarlılığındaki farklılığın nedenleri araştırılmıştır.⁹ Tahmini sinyal gürültü oranı değerleri temporal bölgelerde karşılaştırılabilir düzeydeyken, manyetoensefalografinin sinyal gürültü oranının frontal alanlarda önemli bir yükseklik

göstermesi frontal lob epilepsileriyle ilgili yapılan çalışmada manyetoensefalografinin avantajları olduğuna işaret etmektedir.

■ TEMPORAL LOB EPİLEPSİLERİ

Bazı çalışmalarda temporal lob epilepsilerin (TLE-ler) bazı alt tiplerinde, mezial, lezyonsuz ve lezyonlu temporal lob epilepsilerde manyetoensefalografi kullanımı araştırılmıştır. Mezial temporal lob epilepside, iki hasta alt grubu tanımlanabilir, anterior temporal dikey (ATV) çift kutupları olanlar ve anterior temporal yatay (ATH) çift kutuplu olanlar.^{10,11}•• ATV çift kutuplular medial bazal temporalde epileptik aktiviteye işaret ederken ATH çift kutuplular temporal kutup ve lateral temporal lobun komşu bölgelerindeki epileptik aktiviteyle uyumludur. ATV çift kutupları olan hastalarda, uzun süreli video-elektroensefalografi monitörizasyon esnasında kaydedilmiş olan interiktal ve iktal EEG değişikliklerinin sabit bir şekilde ipsilateral temporal lobda yerleşik olduğu görülmüştür. Buna zıt olarak, ATH çift kutupları olan hastaların %50 kadarında her iki temporalde de diken dalga veya nöbet başlangıçları saptanmıştır.¹¹•• Seçici amigdala-hipokampektomi sonrasında cerrahi sonuç ATV çift kutupları olan hastalarda ATH çift kutupları olan hastalardan biraz daha iyidir, böylece bu ikinci hasta grubunda daha büyük rezeksiyonlar önerilirken ilk grupta seçici amigdala hipokampektominin yeterli olacağı yönünde bir tartışma başlatılmış olur.

Lezyonsuz temporal lob epilepsilerde, manyetoensefalografi çift kutup lokalizasyonları girişimsel elektroensefalografi kayıtlarıyla mantıklı bir uyum göstermiştir. Özellikle, anterior medial dikey çift kutuplara mezial nöbet başlangıçları eşlik ederken posterior lateral dikey çift kutuplar lateral veya diffüz nöbet başlangıçlarına eşlik etmiştir.^{10,12} Bu nedenle manyetoensefalografi, lezyonsuz temporal lob epilepsisi olan hastalarda mezial ile neokortikal epileptojenik neokortikal zonların girişimsel olmayan bir yöntemle ayırımında faydalı olabilir.

Lezyonlu temporal lob epilepsilerde, manyetoensefalografi yapısal lezyonlar ile nöbet başlangıç zonu arasındaki ilişkinin çözümlenmesine

yardımcı olmuştur. Neokortikal temporal lezyonları olan hastalarda yapılan bir çalışmada,¹³ manyetoensefalografi lokalizasyonları lezyona denk düşen hastalarda lezyonektomi ile nöbetsiz bir sonuç elde edilmiştir. Bununla birlikte diffüz manyetoensefalografi ani voltaj artışı çift kutuplu diken dalga lokalizasyonu olan hastalarda girişimsel elektroensefalografi kayıtları ile lezyondan uzakta mezial temporal bir başlangıcın söz konusu olduğu belgelenmiştir.

■ TEMPORAL LOB DIŞI EPİLEPSİLER

Tıbbi tedaviye dirençli temporal dışı epilepsileri olan hastalarda cerrahi öncesi değerlendirme ve cerrahi tedavi açısından büyük problemler yaşanır çünkü lezyonlar sıklıkla manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile tanımlanamaz ve cerrahi sonuç temporal lob epilepsilerden daha kötüdür. Bazı güncel çalışmalarda temporal dışı epilepsileri olan hastaların değerlendirilmesinde manyetoensefalografi ile faydalı bilgiler elde edilmiştir, manyetoensefalografi çift kutuplu diken dalga yerleşimleri ile girişimsel kayıtlar arasında mükemmel bir uyum saptanmıştır.¹⁴⁻¹⁷ Manyetoensefalografi normal manyetik rezonans görüntülemelerde hassas bölgenin tanımlanmasına, epileptik aktivitenin büyük lezyonlarla eloquent korteksle ilişkilerinin tanımlanmasına ve çoklu lezyonlardan hangilerinin epileptojenik olduğu kararının verilmesine yardımcı olmuştur.¹⁴ Bu bilgiyle girişimsel elektrotların doğru bir şekilde yerleştirilmesinde anlamlı bir iyileşme söz konusu olabilir.¹⁴ Manyetoensefalografi aynı zamanda, başarılı bir ikincil rezektif cerrahiye yol açan ikinci bir cerrahi öncesi değerlendirme esnasında benzersiz bilgilerin elde edilmesini sağlar.¹⁴ Son olarak, manyetoensefalografi ile tanımlanmış hassas diken dalga bölgesinin rezeksiyonu sonucunda postoperatif nöbet kontrolünde prognoz açısından pozitif etkiler saptanmıştır.^{15,18}•

■ KORTİKAL GELİŞME BOZUKLUKLARI

Kortikal gelişme bozuklukları, yakın zaman önce, tıbbi tedaviye dirençli epilepsinin sık görülen nedenleri arasında fark edilmiştir.¹⁹ Balon hücreleri olan odaksal kortikal displaziler (FCD'ler), bu bozukluklar arasında, bu displastik hücrelerin intren-

sek epileptojenisitesine bağlı olarak, en yüksek epileptojenik potansiyele sahiptir, bu durum güncel bir manyetoensefalografi çalışmasıyla onaylanmıştır.²⁰ Bazen bu lezyonların ve özellikle boyutlarının manyetik rezonans görüntüleme ile sınırlarının belirlenmesi güçtür. Daha önceden normal manyetik rezonans görüntülemeleri olduğu kabul edilen taramaların manyetoensefalografi önderliğinde değerlendirilmesi sonucunda, başarılı epilepsi cerrahisi sonrasında elde edilen histopatolojik bulgularla uyumlu hafif anormallikler saptanabilir.²¹ Manyetik rezonans görüntülemesi normal ve odaksal kortikal displazisi histopatolojik olarak kanıtlanmış bir hastada ameliyat dışı elektrokortikografik deşarjların yerleşimi ve boyut manyetoensefalografi ile doğru bir şekilde tahmin edilebilir.²² Manyetoensefalografi ile tanımlanmış hassas bölgeye tam rezeksiyon uygulanması, bazen manyetik rezonans görüntüleme ile saptanan lezyonun sınırlarını aşar ve bazı çalışmalarda nöbetsiz bir sonuç elde etmek için gerekmiştir.^{15,20•23} Bu nedenle manyetoensefalografi hafif kortikal displazilerini daha iyi bir şekilde tanımlayabilir, bireysel epileptojenisiteleri belirlenebilir ve iyi bir cerrahi sonuç elde edilmesi için rezeksiyon boyutu manyetik rezonans görüntülemeyle saptanan lezyonun ötesine ilerletilebilir.

LANDAU-KLEFFNER SENDROMU

Landau-Kleffner sendromunun (LKS) incelenmesinde manyetoensefalografi iyi bir seçenek gibi görünmektedir çünkü Silvan fissürdeki aktiviteyi seçici bir şekilde kaydetmektedir (tanjensial) ve perisilvan kortekste hızla oluşturulmuş (radial) epileptik aktivite ile karışmamaktadır.²⁴⁻²⁶ Landau-Kleffner sendromunun doğru tanısına önderlik etmede manyetoensefalografi faydalı olabilir,²⁴ epileptik deşarjlarda muhtemel “kaynak” olarak intrasilvan korteksi tanımlayabilir ve son olarak oluşturulmuş diken dalga değişikliklerinde birincil ve ikincil ayırımını yapabilir, bu çocukların çoklu subpial transeksiyon adayı olup olmadığına karar verilirken hayati önem taşır.²⁵ Manyetoensefalografi kaynak dinamikleri metoheksital baskılama testinin sonuçlarını doğru bir şekilde tahmin ettirmiştir ve seçilmiş hastalarda cerrahi sonuç ile de onaylanmıştır.²⁵

EPILEPSİ CERRAHİSİ SONRASINDA TEKRARLAYAN NÖBETLERİ OLAN HASTALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Epilepsi cerrahisi sonrasında tekrarlayan nöbetleri olan hastalarda manyetoensefalografi, kafa derisi elektroensefalografisine üstündür çünkü manyetik alanlarda, kafa derisi elektroensefalografisinin hatalı yerleşimine neden olabilecek dura kusurları ve kafatası nedeniyle bozulma yaşanmaz. 17 hastada yapılan bir çalışmada standart girişimsel olmayan cerrahi öncesi değerlendirme ile detaylı uzaysal yerleşim verileri elde edilemezken önceki rezeksiyon sınırlarına yakın komşu olacak şekilde manyetoensefalografi çift kutupları yerleştirilmiştir ve seçilmiş olgularda girişimsel elektroensefalografi kayıtlarıyla uyum göstermiştir.²⁷

MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMENİN MANYETOENSEFALOGRAFİ ÖNDERLİĞİNDE TEKRAR DEĞERLENDİRİLMESİ

Manyetik rezonans görüntülemesi negatif olduğu söylenen yani manyetik rezonans görüntülemesinin normal olduğu kabul edilen hastalarda hafif lezyonların tanımlanması cerrahi değerlendirmeyi anlamlı bir şekilde değiştirebilir. Ek olarak, bir lezyonun tanımlanması ve çıkarılması ile cerrahi sonuçta sıklıkla iyileşme gözlenir. Bazı güncel çalışmalarda manyetoensefalografi ile saptanmış epileptiform alanların yüksek-spatial-çözünürlüklü manyetik rezonans görüntüleme ile tekrar değerlendirilmesi sonucunda, olguların %17.5 kadarında daha önceden tanımlanmamış olan epileptojenik nörokortikal lezyonların tanımlanabildiği gösterilmiştir.^{28,29}

İKTAL MANYETOENSEFALOGRAFİ KAYITLARI

Sabit bölgesel interiktal epileptiform deşarjlar nöbetlerin başladığı alan açısından onaylayıcı kanıtlar sağlarken hastanın her zamanki nöbetleriyle eş zamanlı veya bunlardan önce gelen bölgesel iktal epileptiform deşarjlar, cerrahi öncesi değerlendirmede en güvenilir lokalizasyon işareti olarak kabul edilir. Yakın zaman önce, hasta serilerinde iktal manye-

toensefalografi kayıtlarının verilerini sunan bazı çalışmalar yayınlanmıştır.³⁰⁻³⁴ Bunların bazılarında çoğu hastadaki interiktal ve iktal manyetoensefalografi yerleşimleri arasında iyi bir uyum gösterilirken,^{30,32,34} bir çalışmada iktal manyetoensefalografinin interiktal manyetoensefalografiye net bir şekilde üstün olduğu saptanmıştır.³³ İktal manyetoensefalografi yerleşimleri seçilmiş olgularda takip eden kafa içi kayıtlarla onaylanabilir.^{31,33,34} Bununla birlikte, iktal manyetoensefalografi kayıtları rutin klinik ortamlarda bazı nedenlerden dolayı uygulama açısından uygun değildir. Birincisi, bir manyetoensefalografi kayıt seansının kısıtlı süresinde yakalanabilmesi için hastadaki nöbetlerin sık olması zorunludur. İkincisi, hastanın uzun bir süre boyunca manyetometreye göre sabit bir pozisyonda kalması gerekmektedir, streslidir, rahatsızlık verir ve sadece kooperasyonu oldukça iyi olan hastalarda sağlanabilir. Üçüncüsü, nöbetlere sıklıkla hareket eşlik etmektedir ve beraberinde görülen artefaktlar manyetoensefalografi verilerinin yorumlanmasını güçleştirmektedir. Son olarak, bazı nöbetlerin nöbet başlangıç zonunu güvenilir bir şekilde lokalize edebilmeleri için kaydedilmeleri gerekmektedir. Barkley ve ark.³¹ bir hastada manyetoensefalografi esnasında bir nöbet geliştiğini ve bunun da interiktal manyetoensefalografi ani voltaj artışlarının üç zonundan birine eş zamanlı lokalize olduğunu bildirmişlerdir. Bu hastaya daha sonra girişimsel elektroensefalografi monitörizasyon uygulandığında interiktal manyetoensefalografi ani voltaj artışının üç zonu da iktal başlangıç zonları olduğu saptanmıştır. Böylece, uzun süreli manyetoensefalografi kayıtlarının kolaylaştırılması için ileri teknik gelişmelere ihtiyaç vardır.

■ CERRAHİ ÖNCESİ DEĞERLENDİRMEDE DİĞER TEKNİKLERLE KARŞILAŞTIRMALI OLARAK MANYETOENSEFALOGRAFİ

Bazı güncel çalışmalarda cerrahi öncesi değerlendirme esnasında manyetoensefalografinin katkıları diğer tekniklerle karşılaştırmalı olarak gözden geçirilmiştir.^{17,35,36,37}••³⁸ Uzun süreli video elektroensefalografi monitörizasyonu esnasında elde edilen interiktal ve iktal kafa derisi elektroensefalografilere kıyasla, hastaların anlamlı bir şekilde da-

ha fazla bir kısmında interiktal manyetoensefalografi ile nöbetsiz cerrahi sonuçla kanıtlandığı şekilde epileptojenik zon doğru bir şekilde lokalize edilmiştir.^{35,37}•• Olguların %32.3'ünde manyetoensefalografi ve video elektroensefalografi sonuçları eşdeğerken, olguların %40'ında manyetoensefalografi ile ek yerleşim bilgileri elde edilmiştir.³⁷•• Bir çalışmada girişimsel EEG'nin interiktal manyetoensefalografiden üstün olduğu bulunmuştur³⁵ ancak diğer bir çalışmada bu iki yöntemin lokalizasyon doğruluğunun eşdeğer olduğu görülmüştür.³⁸• Stefan ve ark.¹⁷ günümüze dek yayınlanmış en büyük seriyi sunmuşlar, manyetoensefalografi ile incelenen 455 epilepsi hastasını değerlendirmişlerdir. Cerrahi tedavi uygulanan 131 hastanın %89'unda manyetoensefalografi ile tedavi edilecek lob tanımlanmış olup temporal dışı olguların sonuçları temporal lob epilepsisine üstündür. Araştırmacılar 104 hastada manyetoensefalografinin cerrahi öncesi değerlendirmenin genel sonucuna katkısını nicelleştirmişlerdir. Manyetoensefalografi ile olguların %35'inde ek bilgi sağlanmış ve %10'unda bu bilgiler nihai karar açısından hayati önem taşımaktadır.

■ MANYETOENSEFALOGRAFİ VE CERRAHİ SONUÇ

Temporal lob epilepsisi üzerine yapılan bir çalışmada, anterior temporal lobta yerleşik diken dalgalarının %70'inden fazlası olarak tanımlanan ve anterior temporal manyetoensefalografi diken dalga lokalizasyonları olan hastalar anterior olmayan temporal lokalizasyonları olan olgulardan ayrılmıştır.¹³ Anterior temporal lokalizasyonları olan bütün hastalar anterior temporal lobektomiyle birlikte amigdala hipokampektomisi uygulanması sonrasında nöbet ve ani voltaj artışı yaşamamaya başlarken, anterior olmayan manyetoensefalografi diken dalga lokalizasyonları olan hatalarda cerrahinin sonuçları beklenenden daha kötüdür. Temporal lob epilepsisi olan 26 hastada yapılan diğer bir çalışmada manyetoensefalografi çift kutup lokalizasyonları ve oryantasyonları nöbet başlangıç zonuyla ilgili faydalı yerleşim bilgileri sağlamıştır.³⁹• ATV ve ATH çift kutupları olan 23 hastanın tamamında anterior-medial temporal lobektomi veya seçici amigdala hipokampektomi sonrasında

nöbet görülmemeye başlarken, lateral vertikal çift kutupları olan diğer 3 hasta kısıtlı neokortikal temporal rezeksiyonlar sonrasında nöbetsiz bir hale gelmişlerdir. Lezyonlu frontal lob epilepside manyetoensefalografi ile tanımlanmış hassas bölgenin tam rezeksiyonu başarılı cerrahi sonuçlarla korelasyon göstermiştir.¹⁸ Son olarak, 33 hastada yapılan bir çalışmada cerrahi sonuçlar ile aşağıdaki parametreler arasında anlamlı bir korelasyon saptanmıştır: manyetoensefalografi sonuçlarındaki elipsoidin rezeksiyon hacmi tarafından ileri bir şekilde kaplanması (?), manyetoensefalografi sonuçları elipsoidinin merkezleri ile rezeksiyon hacmi arasında kısa bir mesafe olması ve manyetoensefalografi lokalizasyonlarındaki homojenliği, bütün bunlar epilepsi cerrahisinde manyetoensefalografinin prognozla ilişkisine işaret etmektedir.⁴⁰

ÖNEMLİ BEYİN BÖLGELERİNİN LOKALİZASYONU

Epilepsi cerrahisinin amacı nörolojik bozukluğa neden olmadan epileptojenik beyin dokusunun çıkarılmasıdır, eloquent korteks sınırlarının kesin bir şekilde belirlenmesini gerektirir. Somato-duysal olarak uyarılmış manyetik alanlardan elde edilen manyetoensefalografi yerleşimlerinde, direkt kortikal uyarılmalarla ve elektrokortikografiyle kaydedilmiş somato-duysal uyarılmış potansiyellerle mükemmel bir uyum görülmüştür ve santral sulcus birkaç milimetrelilik bir doğrulukla lokalize edilmiştir.^{41,42} Günümüzde, Wada testi dil lateralizasyonunda altın standart olarak kabul edilmiştir, oysa hemisfer içi kesin dil lokalizasyonu hakkında bilgi sağlamak için direkt kortikal uyarılar gereklidir. Kelime hatırlama görevi,⁴³ sessiz okuma görevi⁴⁴ ve fiil oluşturma ve resim isimlendirme görevi gibi⁴⁵ çeşitli dil paradigmalarıyla elde edilen manyetoensefalografi dil lateralizasyonunda Wada testiyle %89 ile %95 arasında değişen yüksek derecede bir uyum göstermiştir. Manyetoensefalografi direkt kortikal uyarılarla mükemmel uyumun sağlandığı seçilmiş olgularda hemisfer içi dil lokalizasyonu için kullanılabilir.^{46,47} Son olarak, manyetoensefalografi epilepsi hastalarında hemisfer içi ve hemisferler arası dil yeniden organizasyonunun incelenmesinde faydalı olmuştur.⁴⁸⁻⁵⁰

SONUÇ

İnteriktal epileptiform deşarjların saptanmasında manyetoensefalografi ve elektroensefalografi birbirini tamamlarken, manyetoensefalografi neokortikal epilepside elektroensefalografiden daha duyarlıdır. Temporal lob epilepsisinde, manyetoensefalografi ile epileptik aktivite temporal lobun alt kompartmanlarına atfedilebilir ve mezial, lateral ve diffüz başlangıçlı nöbetleri olan hastalar arasında ayırım yapılmasına yardımcı olur. Temporal dışı epilepside, manyetoensefalografi ile lezyonsuz olgularda benzersiz ve sıklıkla karar verici bilgiler elde edilmiştir ve epileptik aktivitenin lezyonlarla ve eloquent korteksle ilişkisinin belirlenmesine yardımcı olur. Manyetoensefalografi aynı zamanda kortikal displazileri, Landau-Kleffner sendromu ve epilepsi cerrahisi sonrasında tekrarlayan nöbetleri olan hastalarda klinik karar verme sürecine katkıda bulunur. Manyetik rezonans görüntülemenin manyetoensefalografi önderliğinde tekrar değerlendirilmesi sonucunda daha önceden fark edilmemiş lezyonlar saptanabilir. Cerrahi öncesi, interiktal manyetoensefalografinin kafa derisi elektroensefalografiye üstün olduğu görülmüştür ve ek yerleşim bilgileri elde edilmiştir. Manyetoensefalografi ile tanımlanmış iritatif zonun tam rezeksiyonu sonucunda postoperatif nöbet kontrolünde prognostik etkiler gözlenmiştir. Manyetoensefalografinin kuvvetli olduğu yönlerden biri eloquent korteksin lokalizasyonudur. Böylece, cerrahi girişimler öncesinde santral fissüre komşu duysal-motor korteks manyetoensefalografi ile güvenilir bir şekilde lokalize edilebilecektir. Manyetoensefalografi dil haritalandırılmasında Wada testi ve kortikal uyarı çalışmalarının sonuçlarıyla mükemmel bir uyum göstermiştir. Bu amaçla manyetoensefalografiyi işlevsel manyetik rezonans görüntüleme ile direkt olarak karşılaştıran çalışmalara acilen ihtiyaç vardır.

Majör bir problem rutin bir klinik ortamda sadece interiktal manyetoensefalografi kayıtları elde edilebilirken, iktal kayıtların klinik uygulamalar açısından elverişli olmamasıdır. Epileptojenik zonu güvenli bir şekilde tanımlanması için bu interiktal bilgilerin yeterli olup olmadığının belirlen-

mesi gerekmektedir. Manyetoensefalografi ile girişimsel değerlendirmelere önderlik edecek önemli bilgiler elde edilebilirken, günümüzde manyetoensefalografi bu girişimsel kayıtların yerini alacak aşamaya ulaşmamıştır. Manyetoensefalografinin diğer bir kısıtlılığını önemli derecede masraflı olması-

dır. Hem manyetoensefalografi hem de kafa derisi elektroensefalografi tamamlayıcı ve onaylayıcı olduğundan, hem manyetoensefalografiyi hem de elektroensefalografiyi eş zamanlı olarak hesaba katan yaklaşımların geliştirilmesi gelecekte daha faydalı bilgiler edinilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR VE OKUNMASI ÖNERİLENLER

- Özellikle ilgi çekici olduğu düşünülen araştırmalar
- özel ilgi uyandıran
 - önemli ve ilgi uyandıran olarak işaretlenmiştir.
1. Cohen D. Magnetoencephalography: evidence of magnetic fields produced by the alpha-rhythm currents. *Science* 1968; 161: 784-786.
 2. Barth DS, Sutherling WW, Beatty J. Intracellular currents of interictal penicillin spikes: evidence from neuromagnetic mapping. *Brain Res* 1986; 368:36-48.
 3. Cohen D, Cuffin BN. Demonstration of useful differences between the magnetoencephalogram and electroencephalogram. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1983; 56:38-51.
 4. Ebersole JS, Squires KC, Eliashiv SD, Smith JR. Applications of magnetic source imaging in evaluation of candidates for epilepsy surgery. *Neuroimaging Clin N Am* 1995;5:267-288.
 5. Park H, Nakasato N, Iwasaki M, et al. Detectability of convexity spikes by conventional EEG and helmet MEG. In: Nowak H, Hauelsen J, Giebler F, Huonker R, editors. *BIO-MAG 2002. Proceedings of the 13th International Conference on Biomagnetism*. Berlin-Offenbach: VDE Verlag GmbH; 2002. pp. 260-262.
 6. Lin YY, Shih YH, Hsieh JC, et al. Magnetoencephalographic yield of interictal spikes in temporal lobe epilepsy: comparison with scalp EEG recordings. *Neuroimage* 2003; 19:1115-1126.
 7. Verrotti A, Pizzella V, Madonna L, et al. Magnetoencephalographic and electroencephalographic evaluation in patients with cryptogenetic partial epilepsy. *Neurophysiol Clin* 2003; 33:174-179.
 8. Iwasaki M, Pestana E, Burgess RC, et al. Detection of epileptiform activity by human interpreters: blinded comparison between electroencephalography and magnetoencephalography. *Epilepsia* 2005; 46:59-68.
 - Araştırmacılar MEG ve EEG'de epileptiform deşarjların bağımsız saptanmasını körlü bir şekilde karşılaştırmışlardır. MEG ve EEG saptama duyarlılığı açısından birbirini tamamlamaktadır.
 9. de Jongh A, de Munck JC, Goncalves SI, Ossenblok P. Differences in MEG/EEG epileptic spike yields explained by regional differences in signal-to-noise ratios. *J Clin Neuro-physiol* 2005; 22:153-158.
 - Belirlenmiş SNR değerleri temporal bölgelerde birbiriyle karşılaştırılabilir düzeydeyken, MEG için SNR frontal bölgelerde önemli bir yükseklik göstermektedir, bu durum frontal lob epilepsiler üzerine yapılan çalışmalarda MEG'in avantajlı olduğuna işaret etmektedir.
 10. Baumgartner C, Patariaia E, Lindinger G, Deecke L. Neuromagnetic recordings in temporal lobe epilepsy. *J Clin Neurophysiol* 2000; 17:177-189.
 11. Patariaia E, Lindinger G, Deecke L, et al. Combined MEG/EEG analysis of the interictal spike complex in mesial temporal lobe epilepsy. *Neuroimage* 2005;24:607-614.
 - MEG ile mezial temporal lob epilepsinin iki alt tipi hakkında kanıt elde edilmiştir – birinde epileptik aktivite medial-bazal temporal lob ile kısıtlıdır, diğerinde ise temporal kutup ile lateral temporal lobun komşu bölgelerinde ek tutulum vardır.
 12. Ebersole JS. Classification of MEG spikes in temporal lobe epilepsy. In: Yoshimoto T, Kotani M, Kuriki S, et al., editors. *Recent advances in biomagnetism*. Sendai: Tohoku University Press; 1999. pp. 758-761.
 13. Iwasaki M, Nakasato N, Shamoto H, et al. Surgical implications of neuromagnetic spike localization in temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 2002; 43:415-424.
 14. Stefan H, Hummel C, Hopfengartner R, et al. Magnetoencephalography in extratemporal epilepsy. *J Clin Neuro-physiol* 2000;17:190-200.
 15. Otsubo H, Ochi A, Elliott I, et al. MEG predicts epileptic zone in lesional extrahippocampal epilepsy: 12 pediatric surgery cases. *Epilepsia* 2001; 42:1523-1530.
 16. Schwartz DP, Badier JM, Vignal JP, et al. Non-supervised spatio-temporal analysis of interictal magnetic spikes: comparison with intracerebral recordings. *Clin Neurophysiol* 2003;114:438-449.
 17. Stefan H, Hummel C, Scheler G, et al. Magnetic brain source imaging of focal epileptic activity: a synopsis of 455 cases. *Brain* 2003; 126:2396-2405.
 18. Genow A, Hummel C, Scheler G, et al. Epilepsy surgery, resection volume and MSI localization in lesional frontal lobe epilepsy. *Neuroimage* 2004; 21:444-449.
 - MEG ile tanımlanmış iritatif zonun tam rezeksiyonu, lezyonlu frontal lob epilepside istenen yönde bir cerrahi sonuçla korelasyon göstermektedir.
 19. Palmi A. Disorders of cortical development. *Curr Opin Neurol* 2000; 13:183-192.
 20. Bast T, Oezkan O, Rona S, et al. EEG and MEG source analysis of single and averaged interictal spikes reveals intrinsic epileptogenicity in focal cortical dysplasia. *Epilepsia* 2004; 45:621-631.
 - Bu çalışma MEG ile odaksal kortikal displazide intrensek epileptojeniteyi kanıtlamıştır.
 21. Zhang W, Simos PG, Ishibashi H, et al. Multimodality neuro-imaging evaluation improves the detection of subtle cortical dysplasia in seizure patients. *Neurol Res* 2003; 25:53-57.
 22. Ishibashi H, Simos PG, Wheless JW, et al. Localization of ictal and interictal bursting epileptogenic activity in focal cortical dysplasia: agreement of magnetoencephalography and electrocorticography. *Neurol Res* 2002; 24:525-530.
 23. Morioka T, Nishio S, Ishibashi H, et al. Intrinsic epileptogenicity of focal cortical dysplasia as revealed by magnetoencephalography and electrocorticography. *Epilepsy Res* 1999; 33:177-187.
 24. Sobel DF, Aung M, Otsubo H, Smith MC. Magnetoencephalography in children with Landau-Kleffner syndrome and acquired epileptic aphasia. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000; 21:301-307.
 25. Paetau R, Granstrom ML, Blomstedt G, et al. Magnetoencephalography in presurgical evaluation of children with the Landau-Kleffner syndrome. *Epilepsia* 1999; 40:326-335.
 26. Rodin E, Funke M, Berg P, Matsuo F. Magnetoencephalographic spikes not detected by conventional electroencephalography. *Clin Neurophysiol* 2004;115:2041-2047.

27. Kirchberger K, Hummel C, Stefan H. Postoperative multichannel magnetoencephalography in patients with recurrent seizures after epilepsy surgery. *Acta Neurol Scand* 1998; 98:1-7.
28. Funke ME, Lewine JD, Orrison WW, et al. MEG-guided identification of structural brain lesions in patients with neo-cortical epilepsy. In: Nowak H, Haueisen J, Giessler F, Huonker R, editors. *BIOMAG 2002: Proceedings of the 13th International Conference on Biomagnetism*. Berlin: VDE Verlag GmbH; 2002. pp. 212-215.
29. Moore KR, Funke ME, Constantino T, et al. Magnetoencephalographically directed review of high-spatial-resolution surface-coil MR images improves lesion detection in patients with extratemporal epilepsy. *Radiology* 2002; 225:880-887.
30. Tilz C, Hummel C, Kettenmann B, Stefan H. Ictal onset localization of epileptic seizures by magnetoencephalography. *Acta Neurol Scand* 2002; 106:190-195.
31. Barkley GL, Smith BJ, Passaro EA, et al. Localizing value of ictal MEG in neocortical epilepsy. In: Nowak H, Haueisen J, Giessler F, Huonker R, editors. *BIOMAG 2002: Proceedings of the 13th International Conference on Biomagnetism*. Berlin: VDE Verlag GmbH; 2002. pp. 226-228.
32. Tang L, Mantle M, Ferrari P, et al. Consistency of interictal and ictal onset localization using magnetoencephalography in patients with partial epilepsy. *J Neurosurg* 2003; 98:837-845.
33. Eliashiv DS, Elsas SM, Squires K, et al. Ictal magnetic source imaging as a localizing tool in partial epilepsy. *Neurology* 2002; 59:1600-1610.
34. Assaf BA, Karkar KM, Laxer KD, et al. Ictal magnetoencephalography in temporal and extratemporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 2003; 44:1320-1327.
35. Wheless JW, Willmore LJ, Breier JI, et al. A comparison of magnetoencephalography, MRI, and V-EEG in patients evaluated for epilepsy surgery. *Epilepsia* 1999; 40:931-941.
36. Mamelak AN, Lopez N, Akhtari M, Sutherling WW. Magnetoencephalography-directed surgery in patients with neo-cortical epilepsy. *J Neurosurg* 2002; 97:865-873.
37. Pataria E, Simos PG, Castillo EM, et al. Does magnetoencephalography add to scalp video-EEG as a diagnostic tool in epilepsy surgery? *Neurology* 2004; 62:943-948.
- MEG ile rezekte edilmiş bölge hastaların %72.3'ünde lokalize edilebilirken girişimsel olmayan video EEG ile sadece %40'ında saptanabilmiştir. MEG hastaların %58.8'inde, lokalize etmeyen bir video EEG çalışmasıyla birlikte rezekte edilmiş bölgenin lokalizasyonuna katkıda bulunmuştur ve video EEG'nin rezekte edilmiş zonu sadece kısmen tanımladığı durumlarda bu oran %72.8'e çıkmıştır. MEG ve video EEG sonuçlarının olguların %32.3'ünde eşdeğer olduğu görülmüştür ve hastaların %40'ında MEG kullanılarak ek lokalizasyon bilgileri elde edilmiştir.
38. Papanicolaou AC, Pataria E, Billingsley-Marshall R, et al. Toward the substitution of invasive electroencephalography in epilepsy surgery. *J Clin Neurophysiol* 2005; 22:231-237.
- Girişimsel video EEG ve MEG lokalizasyon sonuçları birbiriyle karşılaştırılabilir düzeydedir ve hastaların sırasıyla %54 ve %56'sında epileptojenik zon doğru bir şekilde lokalize edilmiştir. Temporal olgularda MEG'in girişimsel video EEG'ye hafif ancak anlamlı olmayan bir avantajı varken temporal dışı olgularda bunun tam tersi geçerli değildir.
39. Assaf BA, Karkar KM, Laxer KD, et al. Magnetoencephalography source localization and surgical outcome in temporal lobe epilepsy. *Clin Neurophysiol* 2004; 115:2066-2076.
- MEG çift kutup lokalizasyonları ve oryantasyonları ile TLE'de nöbet başlangıç zonu ile ilgili faydalı yerleşim bilgileri elde edilmiştir.
40. Fischer MJ, Scheler G, Stefan H. Utilization of magnetoencephalography results to obtain favourable outcomes in epilepsy surgery. *Brain* 2005; 128:153-157.
- Araştırmacılar cerrahi sonuç ile MEG ile tanımlanmış iritatif zonun rezeksiyonu arasında anlamlı bir korelasyon saptamışlardır.
41. Gallen CC, Sobel DF, Waltz T, et al. Noninvasive presurgical neuromagnetic mapping of somatosensory cortex. *Neuro-surgery* 1993; 33:260-268.
42. Ossenblok P, Leijten FS, de Munck JC, et al. Magnetic source imaging contributes to the presurgical identification of sensorimotor cortex in patients with frontal lobe epilepsy. *Clin Neurophysiol* 2003; 114:221-232.
43. Papanicolaou AC, Simos PG, Castillo EM, et al. Magnetoencephalography: a noninvasive alternative to the Wada procedure. *J Neurosurg* 2004; 100:867-876.
- MEG ve Wada verileri ileri derecede uyum göstermiştir (%87). MEG lateralite kararlarının bütünündeki duyarlılığı %98'dir ancak seçiciliği daha düşük olup %83'tür, MEG ile, Wada testine göre tahmin edilene kıyasla, baskın olmayan hemisferde daha fazla aktivite saptanmış olması gerçeğine bağlıdır.
44. Hirata M, Kato A, Taniguchi M, et al. Determination of language dominance with synthetic aperture magnetometry: comparison with the Wada test. *Neuroimage* 2004; 23:46-53.
- Sentetik apertura manyetometri kullanıldığında dil lateralizasyonu olguların %95'inde Wada testiyle uyumludur.
45. Bowyer SM, Moran JE, Weiland BJ, et al. Language laterality determined by MEG mapping with MR-FOCUSS. *Epilepsy Behav* 2005; 6:235-241.
- Güncel bir yoğunluk görüntüleme tekniği olan MR-FOCUSS kullanılarak MEG dil lateralizasyonu ile kombine Wada testi/kafa içi dil haritalandırılması arasında %89'luk bir uyum oranı elde edilebilmiştir.
46. Simos PG, Papanicolaou AC, Breier JI, et al. Localization of language-specific cortex by using magnetic source imaging and electrical stimulation mapping. *J Neurosurg* 1999; 91:787-796.
47. Kober H, Moller M, Nimsky C, et al. New approach to localize speech relevant brain areas and hemispheric dominance using spatially filtered magnetoencephalography. *Hum Brain Mapp* 2001; 14:236-250.
48. Breier JI, Castillo EM, Simos PG, et al. Atypical language representation in patients with chronic seizure disorder and achievement deficits with magnetoencephalography. *Epilepsia* 2005; 46:540-548.
- Sol hemisfer kaynaklı karmaşık kısmi nöbetleri olan hastalarda okuma ve heceleme bozukluklarına atipik dil organizasyonu eşlik etmektedir.
49. Pataria E, Billingsley-Marshall RL, Castillo EM, et al. Organization of receptive language-specific cortex before and after left temporal lobectomy. *Neurology* 2005; 64:481-487.
- Dile özgün bölgelerde hemisferler arası işlevsel yeniden organizasyon sol anterior temporal lobektomi uygulanan hastalarda, rezeksiyon direkt olarak Wernicke alanının sınırlarını aşmasa bile görülebilir.
50. Pataria E, Simos PG, Castillo EM, et al. Reorganization of language-specific cortex in patients with lesions or mesial temporal epilepsy. *Neurology* 2004; 63:1825-1832.
- Bu çalışmada mezial TLE'deki atipik dil lateralizasyonu ve lezyonlu TLE'de hemisfer içi dil kaymaları gösterilmiştir.