

# Olaya İlişkin Beyin Potansiyellerinin (OİP) Zaman-Frekans Analizi

Prof. Dr. Tamer Demiralp  
İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi  
Fizyoloji Anabilim Dalı

İletişim:

Prof. Dr. Tamer Demiralp  
İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi  
Fizyoloji Anabilim Dalı  
34390 Çapa-İSTANBUL  
Telefon-fax:90 212 5339468  
e-posta: demiralp@istanbul.edu.tr

Bu yazının içeriğini oluşturan veriler daha önce kongrelerde sunulmuştur. Bu yazının içerdiği çalışmalarda katkıları nedeniyle Ahmet Ademoğlu, Erol Başar, Juliana Yordanova ve Vasil Kolev'e teşekkür ederim. Bu çalışma İstanbul Üniversitesi, Araştırma Fonu I 132/010598 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



### **Olaya İlişkin Beyin Potansiyellerinin (OİP) Zaman-Frekans Analizi**

**ÖZET** P300 latans aralığında örtüşen birden fazla işlevsel bileşenin varlığını araştırmak için, oddball paradigmasındaki hedef ve standard uyaranlara karşı elde edilen olaya-ilişkin potansiyellere (OİP) zaman-frekans analizi uygulandı. OİP'lerin eşzamanlı veya zamanda kısmen örtüşen bileşenlerini, birbirleri ile zamansal ilişkilerini kaybetmeden saptamak için güçlü bir zaman-frekans analizi yöntemi

olan dalgacık dönüşümü (DD) kullanıldı. Tek EEG dilimlerine dört-oktavlık karesel B-spline dalgacık dönüşümü uygulanması, P300 oluşumu sırasında birbirinden ayrı olayların gerçekleştiğini gösterdi. P300 latans aralığında bazı delta, teta ve alfa frekans bileşenleri, hedef ve standard uyaranların işlenmesi sırasında farklılık gösterdi. Bu bulgular, P300'ün çok sayıda fonksiyonel bileşenden oluştuğunu ve dalgacık dönüşümü yönteminin P300'ün fonksiyonel bileşenlerini ayrıntılı incelemek için kullanılabilirliğini göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Olaya İlişkin Potansiyeller, Dalgacık Dönüşümü, Zaman-Frekans Analizi, Kognisyon, P300, Ayrıştırma

### **Time-Frequency Analysis of Event-Related Brain Potentials (ERP):**

**ABSTRACT** A time-frequency decomposition was applied to rare target and frequent nontarget event-related potentials (ERPs) elicited in an oddball condition to assess whether multiple functional components occur in the P300 latency range. The wavelet transform (WT) was used because it allows to capture simultaneous or partly overlapping components in ERPs without losing their temporal relationships. The application of a four-octave quad-

rat B-spline wavelet transform permitted to obtain new information and revealed the presence of separate events during P300 development. It was demonstrated that several delta, theta, and alpha frequency components in the P300 latency range differed between target and nontarget processing. These findings indicate that P300 is composed of multiple functional components and that the WT method may contribute to study P300 functional correlates more precisely.

**Keywords:** Event-related potentials, Wavelet Transform, Time-Frequency Analysis, Cognition, P300, Decomposition

### **GİRİŞ**

Olaya-ilişkin beyin potansiyelleri (OİP), bilgi işleme süreçleri sırasındaki nöral olayların toplamını yansıtan işaretlerdir (Picton, 1992; Johnson, 1993). Bu bilgi işleme mekanizmaları, milisaniyelerden saniyelere kadar farklı zaman ölçeklerinde yer alırlar ve birbirleriyle tamamen veya kısmen örtüşebilirler (Donchin ve Hefley, 1978; Johnson, 1993). Farklı işlevsel süreçleri yansıtan OİP bileşenlerini ayırmak için çeşitli işlemler veya istatistiksel metodlar uygulanmışsa da bileşenlerin güvenilir bir şekilde ayrıştırılması halen çözümlenememiştir (Donchin ve Hefley, 1978).

Son yıllarda, zaman-frekans çözümleme yöntemlerinden olan dalgacık dönüşümü, OİP'lerin çok bileşenli yapısının incelenmesin-

de yetkin bir araç olarak önerilmiştir (Ademoğlu, 1995; Ademoğlu ve ark. 1998; Demiralp ve ark. 1999, basımda; Kolev ve ark. 1997; Samar ve ark. 1995; Yordanova ve ark. 2000). Dalgacık dönüşümünün en büyük avantajı, hızlı süreçleri yansıtan yüksek frekans bandlarının dar zaman pencereleri içinde, yavaş süreçleri yansıtan daha düşük frekanslarınsa geniş zaman pencereleri içinde çözümlenebilmesidir (Ademoğlu, 1995, Ademoğlu ve ark. 1998). Dalgacık katsayılarının zamanda iyi lokalize olması, farklı frekans bandlarındaki olayların zamansal konumlarının hassas şekilde tanımlanmasına olanak verir.

Oddball görevinde dikkat edilen seyrek uyaranlarla pariyeto-santral dağılımlı geç pozitif bir dalga olan P300 dalgasının elde edildiği

bilinmektedir (Picton, 1992; Johnson, 1993; Polich, 1988). Benzer geç pozitif dalgalar düşük olasılıklı, yeni veya görevle-ilişkili (dikkat edilmesi, hatırlanması veya yanıt verilmesi gereken) uyarıların kullanıldığı farklı durumlarda da kaydedilmiştir (Courchesne ve ark. 1978; Polich, 1988). Çeşitli deneysel paradigmalarda elde edilen P300 dalgaları duruma-özgü şekil, latans ve topografik yayılım farklılıkları göstermektedirler (Polich ve ark. 1996). Bu bulgular, P300'ün tek bir dalga olarak görünse bile tek bir fenomen olmadığını, heterojen ve çok bileşenli olduğunu düşündürmektedir. Frekans alanında, P300 latans aralığındaki delta (0.5-4 Hz) ve teta (4-7 Hz) bileşenlerinin seyrek hedef ve sık standard uyarıların işlenmesinde farklı olduğu gösterilmiştir (Başar-Eroglu ve ark. 1992). Bu çalışmada, dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak oddball P300 dalgası içindeki işlevsel bileşenler ayrıştırılmaya çalışılmıştır.

## YÖNTEM

### Deneysel paradigma ve OİP ölçümü

Çalışmaya yaşları 18-27 arasında değişen, 6'sı kadın 10 sağlıklı gönüllü katıldı. EEG, 10/20 sistemine göre birleşik kulak memeleri referans alınarak kaydedildi. Göz hareketlerini monitörize etmek için elektro-okülogram da ölçüldü. EEG yükselticilerinin kesim frekansları 0 ve 70 Hz'di (-3 dB oct. ve uyarı öncesi ve sonrası 1'er saniyelik dönemler 256 Hz örnekleme frekansıyla kaydedildi. 60 dB şiddetinde, 1000 ms süreli ve yükselme ve alçalma zamanı 10 ms olan 80 uyarı, oddball paradigması denenisi içinde uygulandı. İki tip işitsel uyarı (sık 2000 Hz ve seyrek 1950 Hz), seyrek tonların olasılığı 0. olacak şekilde rastlantısal olarak karıştırıldı. Seyrek tonlar, deneğin içinden sayması gereken hedef uyarılardı. Uyarılar arası süre 3. ve 5. sn arasında rastlantısal olarak değiştirildi. Deneklerin gözleri kayıt süresince kapalıydı. Tüm denekler hedef uyarıların sayısını doğru olarak belirtti.

EEG dilimlerinden 45 µV'u geçmeyenler ve

göz ve kas artefaktı içermeyenler analize katıldı. Ortalama OİP'lerde P300 latansı ve genlik değerleri ölçüldü.

### Dalgacık Dönüşümü (DD, ing: Wavelet Transform, WT)

Dalgacık Dönüşümü bir  $x(t)$  işaretini, dalgacık adı verilen bir  $y(t)$  işlevinin dilate edilmesi ve zamanda kaydırılmasıyla elde edilen bir  $\psi_{a,b}(t)$  işlevler ailesine ayrıştırır (Daubechies, 1988; Mallat, 1989).

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in R, a \neq 0,$$

Ölçek parametresi olan  $a$  dalgacık işlevini gererek frekans içeriğini, ayarlar ve pozisyon parametresi olan  $b$  dalgacık işlevini zaman alanında kaydırarak bu frekans içeriğinin hangi zaman bölgesinde oluştuğunu belirler. Ayrıştırma, işaret dalgacık işlevi üzerine yansıtıldığında oluşur.

Bu, işaretin dalgacık işleviyle iç çarpımı ile elde edilir:

$$WT_x(b, a) = \left\langle x(t), |a|^{-1} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \right\rangle \\ = |a|^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

\*kompleks eşleniği,  $\langle x, \psi \rangle$  ise iç çarpımı göstermektedir.

Uygulamada, işaretler ayrık (dicrete) zamanda olduğu için, genellikle ölçek parametresi  $a=2^j$  ( $j=0,1,2,\dots$ ) şeklini ve pozisyon parametresi  $b=k2^j$  ( $k=\dots, 2,-1,0,1,2,\dots$ ) şeklini alır. Bu şekilde dalgacık dönüşümü çoklu çözümleme adını alan bir algoritmaya dönüşür.

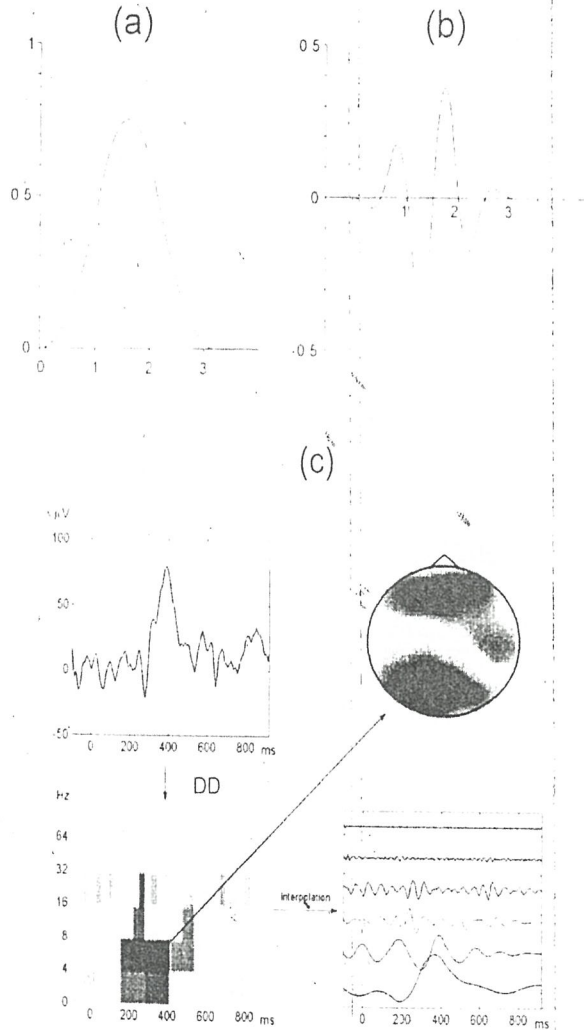
### OİP'lerin Dalgacık Dönüşümüyle Zaman-Frekans Analizi

Ortalama OİP'lere dalgacık dönüşümü uygulandı. Bu amaçla suboptimal bir zaman-frekans konumlaması sağlayan, karesel B-spline



dalgacık işlevleri kullanıldı (Ademoğlu, 1995; Ademoğlu ve ark. 1998; Demiralp ve ark. 1999; Unser ve ark. 1992) (Şekil 1a ve 1b). OİP'lerin zaman-frekans düzleminde çözülmesi için standart piramidal filtre şemasında hızlı dalgacık dönüşümü (DD) algoritması uygulandı (Ademoğlu, 1995). Dört-oktavlık dalgacık dönüşümüyle 32-64 Hz (gamma), 16-32 Hz (beta), 8-16 Hz (alpha) ve 4-8 Hz (teta) frekans band-

larında dört grup katsayı ve 0.5-4 Hz (delta) frekans aralığında artıklar elde edildi. Herbir oktav, kendisine özgü frekans aralığına uygun sayıda katsayı içermektedir. Katsayıların karesel spline işlevleri ile interpolasyonu, her frekans bandının zaman içindeki değişimini yansıtmada kullanılabilir (Şekil 1c). Bu çalışmada, delta, teta ve alfa katsayıları değerlendirildi. Her 1 sn'lik uyaran-sonrası dönem için sekiz



**Şekil 1.** (a)  $b_2(x)$  karesel spline işlevi ve (b)  $b_{22}(x)$  karesel spline dalgacığı, (c) zaman-frekans ve uzay alanında analizin şeması. Verinin çoklu çözümlemeli zaman-frekans gösterimi Dalgacık Dönüşümü ile elde edildi. Her frekans bandının zamansal evrimini göstermek için interpolate edilen dalga biçimlerine başvurulabilir. Ayrıca, dalgacık katsayılarına ilişkin topografik yayılımlar ardışık katsayıların aynı beyin yapılarından kaynaklanıp kaynaklanmadığı hakkında fikir verebilir.

delta, sekiz teta ve 16 alfa katsayısı elde edildi. Pencere büyüklüğü delta ve teta için 128 ms, alfa için 64 ms idi. Yalnız P300 latans aralığındaki (300-550) katsayılar analiz edildi. Bunlar delta ve teta aralığı için 4 ve 5 inci katsayılar, alfa aralığı için 6, 7 ve 8 inci katsayıları (Şekil 3). Dalgacık katsayıları, herbir frekans bandına karşılık bir harf ile beraber (D delta için, T teta için, ve A alfa için), katsayının sıra sayısı ile tanımlandı. Örneğin, D5, 450-580 ms'lik dönemi yansıtan beşinci delta katsayısını belirtir.

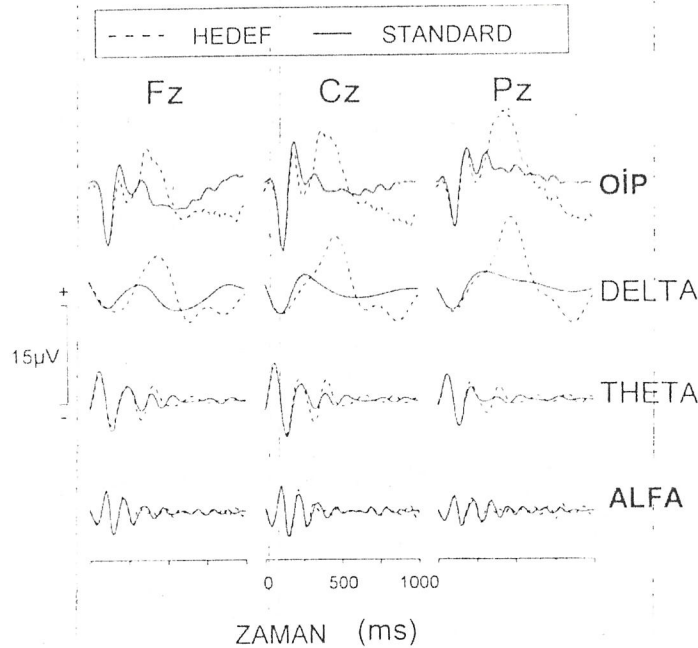
### İstatistiksel Analizler

OİP'lerdeki P300 genlik ve latans değerlerine ve dalgacık katsayılarına, uyarın (hedefe karşı, standard) ve kanal (Fz, Cz, ve Pz) faktörleri olmak üzere, iki denek-içi faktör ile yinelenen ölçümler için varyans analizi (ANOVA) uygulandı. İstatistiksel analizin güvenilirliğini azaltmamak için kanal faktörü orta hat kanallarla (Fz, Cz, Pz) sınırlı tutuldu.

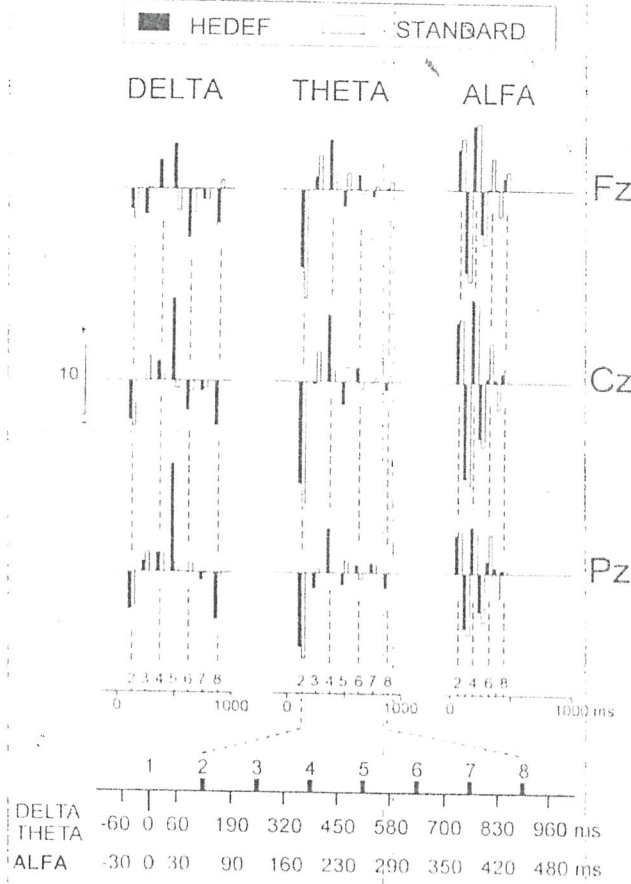
### BULGULAR

Oddball paradigmasında hedef ve standard uyarınlarla elde edilen OİP'lerin Fz, Cz ve Pz kanalındaki büyük ortalamaları şekil 2'de gösterilmiştir. Standardlara göre hedefler için P300 genliğinin anlamlı derecede daha büyük (uyarın,  $F(1/9)= 29.3$ ;  $p < 0.001$ , ortalama 3.2  $\mu V$  akarsılık 11.6  $\mu V$ ) ve P300 tepe latansının uzun (ortalama 355 ms ye karşılık 410 ms) olduğu gözlenmektedir. P300 genliği Pz de maksimumdu (kanal,  $F(2/9)= 35.3$ ;  $p < 0.001$ ).

Şekil 3, delta, teta ve alfa dalgacık katsayılarının grup ortalama değerlerini göstermektedir. D4 kanala bağlı değişmemektedir. Hedefler için yalnız fronto-santral bölgede anlamlı olarak büyüktür (uyarın x kanal,  $F(2/1366)= 11$ ;  $p < 0.001$ ; Fz ve Cz de basit uyarın etkileri,  $F(1/683)= 3.8$ ;  $p < 0.05$ ). Uyarın etkisi en belirgin olarak parietalde baskın olan, beşinci pozitif delta katsayısı D5 (kanal,  $F(2/1366)= 198.8$ ;  $p < 0.001$ ) için elde edildi. D5, Pz'de (uyarın x kanal,  $F(2/1366)= 26.6$ ;  $p < 0.001$ ) en belirgin ol-



Şekil 2. Oddball paradigmasında hedef ve standard uyarınlarla karşı Fz, Cz ve Pz'de ölçülen potansiyellerin büyük ortalamaları.



**Şekil 3.** Oddball paradigmasındaki hedef ve standard uyaranlara karşı elde edilen potansiyellere dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen delta, teta, alfa dalgacık katsayılarının ortalamaları. Çoklu çözümleme ayrıştırımının zaman pencereleri, ve dalgacık katsayılarını adlandırma yöntemi şeklinde belirtilmiştir.

mak üzere tüm elektrodalarda (uyaran,  $F(1/683)= 156.9$ ;  $p < 0.001$ ) hedefler için yüksek bulundu. Şekil 3'de gösterildiği gibi, hedefler üç bölgede de anlamlı olarak yüksek T4 oluşturdular (uyaran,  $F(1/683)= 16.7$ ;  $p < 0.001$ ). Bu katsayı fronto-santralde maksimaldi (kanal,  $F(2/1366)= 11.3$ ;  $p < 0.001$ ). A6 ve A7 alfa katsayıları hedefler (uyaran,  $F(1/683)= 8$ ;  $p < 0.001$ ) için daha düşüktü ve bu etki elektrodlar arasında homojen yayılıyordu.

### TARTIŞMA

Zaman alanında P300 tek bir OİP dalgası olarak gözlenir. Dalgacık ayrıştırımı, oddball görevi sırasında, P300 latans aralığında çok sayıda işlevsel bileşenin olduğunu göstermiştir. DD, OİP'leri özgün topografi gösteren bağım-

sız zaman-sıklık bileşenlerine ayırdı. Bu nedenle, P300 latans aralığındaki zaman-sıklık bileşenlerinin, P300 gelişimi sırasında oluşan belirli işlevsel altişlemleri yansıtmaları olasıdır. Bu altişlemler, eş zamanlı olduğu veya kısmi olarak örtüştüğü için, zaman alanındaki analizlerle ayrıştırılamaz (Başar, 1980 ; Başar, 1999). Oysa, DD sonucunda P300'ün erken ve geç dönemlerine ayrı işlevsel mekanizmalar katkıda bulunuyor gibi görünmektedir.

Daha önceki sonuçlar, P3a olarak adlandırılan ve daha kısa latanslı ve frontalde baskın bir P300 türevinin oddball uyaranları arasında oldukça seyrek, şaşırtıcı veya yeni (novel) uyaranlar eklendiği zaman elde edildiğini göstermiştir (Courchesne ve ark. 1978 ; Picton, 1992 ; Polich, 1988). Olasılıkla klasik oddball



paradigması sırasında benzer işlemler aktive olmaktadır, ama P3a zaman alanında ayırt edilememektedir. DD bulgularına göre bu işlemlerin fronto-santral teta bileşeni T4 ve eş zamanlı oluşan fronto-santralde yüksek bulunan delta D4 bileşeni ile yansıtıldığı düşünülebilir. Bu erken, hedef ve standard arası farklılıklar, hedeflere karşı yaygın alfa (A6-A7) azalması ile beraberdir. Bu çalışmadaki seyrek uyarılar aynı zamanda görevle-iliştiliydi. Görevle-iliştili P300 tipik olarak daha uzun latanslı (P3b) pariyetal dalga veya geç pozitif kompleks olarak tanınır (Picton, 1992 ; Johnson, 1993 ; Polich, 1988). DD ayrıştırımı ile hedefler ve standard arasında en belirgin fark, pariyetalde baskın olan, delta katsayısında D5 gözlenmiştir. Bu delta bileşeni büyük olasılıkla P3b ile bağlantılıdır. Sonuç olarak, zaman-frekans analizi ile, klasik oddball paradigmasında seyrek hedef uyarılara yanıtlar içinde yer alan P300 dalgasının, hem hedef uyarının seyrek olarak verilmesinden kaynaklanan santro-frontal yayımlı P3a, hem de ödevle ilişkili olmasından kaynaklanan pariyetal yayımlı P3b bileşeni içerdiği ortaya konmuştur. Zaman içinde örtüşen bu iki bileşen, P300 yanıtlarının zaman alanındaki analizinde, iki süreç arasındaki zamansal farkın görece daha büyük olduğu bazı olgular (Polich, 1988) dışında gözlenmezken, zaman-frekans düzleminde gerçekleştirilen analiz bu özelliğin tüm olgularda geçerli olduğunu istatistiksel verilerle ortaya koymuştur. Deneysel değişkenleri arttırarak elde edilen potansiyellerin zaman-frekans düzleminde analiziyle yapılacak daha geniş çalışmalarla, genellikle çok sayıda deneysel değişkenle korele bulunan Olaya İlişkin Beyin Potansiyellerinin işlevsel bileşenlerinin izole edilmesi ve böylece bilişsel süreçlerin daha yüksek duyarlılık ve özgünlükle değerlendirilebilmesi olanak kazanacaktır.

## KAYNAKLAR

- Ademoglu A. (1995) Analysis of averaged and single evoked potentials using damped sinusoids and wavelet basis functions. Ph. Thesis. Bogazici University, Istanbul, Turkey.
- Ademoglu A. Demiralp T. Yordanova J. Kolev V. Devrim M. (1998) Decomposition of event-related brain potentials into multicomponents using Wavelet transform. Applied Sig Process. 5:142-151.
- Basar E. (1980) EEG and Brain Dynamics. Relation between EEG and brain evoked potentials. Elsevier, Amsterdam.
- Basar E. (1999) Brain Function and Oscillations. II: Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes. Berlin: Springer.
- Basar-Eroglu C. Basar E. Demiralp T. Schürmann M. (1992) P300 response: possible psychophysiological correlates in delta and theta frequency channels. Intern J Psychophysiol, 13, 161-179.
- Courchesne E. Courchesne R. Hillyard S. (1978) The effect of stimulus deviation on P3 waves to easily recognized stimuli. Neuropsychologia, 16, 189-199.
- Demiralp T. Yordanova J. Kolev. Ademoglu A. Devrim M. Samar, V. (1999a) Time-frequency analysis of single-sweep event-related potentials by means of fast wavelet transform. Brain Lang, 66, 129-145.
- Demiralp T. Ademoglu A. Comerchero M. & Polich J. (in press). Wavelet analysis of P3a and P3b. Brain Topography.
- Donchin E. and Heffley E. (1978) Multivariate analysis of event related potential data: A tutorial review, in Otto D.A. (ed. : Multidisciplinary Perspectives in Event-Related Brain Potential Research. Washington, DC, U. Environmental Protection Agency, pp 555-572.
- Daubechies I. (1988) Orthonormal bases of compactly supported wavelets. Comm in Pure and Applied Math, 41, 909-996.
- Johnson R. Jr. (1993) On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. Psychophysiology, 30, 90-97.
- Kolev V. Demiralp T. Yordanova J. Ademoglu A. Isoglu-Alkac Ü. (1997) Time-frequency analysis reveals multiple functional components during oddball P300. NeuroReport, 8, 2061-2065.
- Mallat S. (1989) A theory for multi-resolution signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 11, 674-693.



Picton T.W. (1992) The P300 wave of the human event-related potential. *J Clin Neurophysiol*, 9, 456-479.

Polich J. (1988) Bifurcated P300 peaks: P3a and P3b revisited? *J Clin Neurophysiol*, 5, 287-94.

Polich J. Ellerson P.C. Cohen J. (1996) P300, stimulus intensity, modality, and probability. *Intern J Psychophysiol*, 23, 55-62.

Samar V. . Swartz K. . Raghuv eer M. . (1995) Multi-resolution analysis of event-related potentials by wavelet decom-

position. *Brain Cogn*, 27, 398-438.

Unser M. Aldroubi A. Eden M. (1992) On the asymptotic convergence of B-spline wavelets to Gabor functions. *IE-EE Transactions on Information Theory*, 38, 864-872.

Yordanova J. Devrim M. Kolev V. Ademoglu A. Demiralp T. (2000) Multiple time-frequency components account for the complex functional reactivity of P300. *Neuroreport*, 11(5):1097-1103.

