

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FİZYOTERAPİDE KULLANILMAK ÜZERE
SOMATOSENSORİYEL UYARANLARIN
DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK
ELEKTROFİZYOLOJİK BİR METOTUN
GELİŞTİRİLMESİ**

ÖZLEM YILMAZ

**Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı
DOKTORA TEZİ**

İZMİR-2006

T.C.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FİZYOTERAPİDE KULLANILMAK ÜZERE
SOMATOSENSORİYEL UYARANLARIN
DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK
ELEKTROFİZYOLOJİK BİR METOTUN
GELİŞTİRİLMESİ**

**Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı
DOKTORA TEZİ**

Uzm. Fzt. Özlem Yılmaz

Danışman Öğretim Üyesi: Prof. Dr. Erol Başar

ONAY SAYFASI:

Danışman: Prof. Dr. Erol Başar

Jüri üyesi: Prof. Dr. Serap Alper

Jüri Üyesi: Yrd. Doç. Dr. Salih Angın

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Murat Özgören

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Alı Cımbız

Uzm. Fzt. Özlem Yılmaz, Dokuz Eylül Üniversitesinde, DEÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü FTR Doktora programına bağlı olarak tamamladığı “Fizyoterapide Kullanılmak Üzere Somatosensoriyel Uyaranların Değerlendirilmesine Yönelik Elektrofizyolojik Bir Metotun Geliştirilmesi” isimli doktora tezini 21 Temmuz 2006 tarihinde yukarıda imzaları bulunan jüri önünde savunmuştur.

FİZYOTERAPİDE KULLANILMAK ÜZERE SOMATOSENSORİYEL UYARANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK ELEKTROFİZYOLOJİK BİR METOTUN GELİŞTİRİLMESİ

Uzm. Fzt. Özlem Yılmaz
Dokuz Eylül Üniversitesi
Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu
35340 İnciraltı-İZMİR

Özet: Çalışmamız, somatosensoryel uyarıların beyindeki işleme süreçlerini aydınlatmaya yönelik planlanmıştır. Bu amaçla, genç erişkin, sağlıklı bireylerde dokunsal uyarının beyin osilasyonları üzerine etkisi, görsel ve işitsel uyarılara verilen beyin osilasyon yanıtlarıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmaya, yaşları 18-29 arası değişen 60 gönüllü birey dahil edilmiştir. Rasgele 3 gruba ayrılan bireylerden bir gruba somatosensoryel uyarı, ikinci gruba görsel uyarı, üçüncü gruba ise işitsel uyarı verilmiştir. Somatosensoryel uyarı, bir pnömatik uyarıcı ile hafif dokunma şeklinde uygulanmıştır. Ses, ışık ve elektromanyetik alandan yalıtılmış bir odada verilen uyarılar sırasında kişiden sürekli elektroensefalografi (EEG) kaydı alınmıştır. Uluslararası 10-20 sistemine göre saçlı deriye yerleştirilmiş 14 elektrottan kayıt alınmıştır. Kayıttan artefaktlar ayrıştırıldıktan sonra, uyarı öncesi ve sonrası bir saniyelik kesitler değerlendirmeye alınmıştır. Beyin osilasyonlarını incelemek amacıyla, veriler delta (0,5-3,5 Hz), teta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (15-30 Hz) ve gamma (28-48 Hz) frekans bandlarında filtrelenmiştir. Kıyaslamalar istatistiksel olarak ANOVA ile yapılmıştır. Bulgular, somatosensoryel uyarıya karşılık yaygın bir delta yanıtı, primer ve sekonder duyu alanlarında görsel ve işitsel yanıtlardan farklı olarak alfa ile birlikte yüksek teta yanıtları ve uyarı tipi arası farklılık göstermeyen global beta ve gamma yanıtlarının varlığını göstermiştir. Sonuç olarak, beyin osilasyonlarının uyarıya özgü yanıtlar oluşturduğu ve bu yanıtların ileri incelemeleriyle birlikte fizyoterapötik uygulamaların değerlendirilmesinde kullanılabileceği görüşüne varılmıştır.

Anahtar kelimeler: dokunsal, somatosensoryel uyarılmış potansiyel, beyin osilasyonları, pnömatik uyarıcı, delta yanıtı

A NEW ELECTROPHYSIOLOGICAL METHOD FOR ASSESSING SOMATOSENSORIAL STIMULATIONS IN PHYSIOTHERAPY

Özlem Yılmaz , PT, MSc
Dokuz Eylül Üniversitesi
Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu
35340 İnciraltı-İZMİR

Abstract: The aim of this study was to investigate the brain oscillatory responses to tactile stimuli (somatosensory evoked oscillations) in healthy adults by comparing the results with visual and auditory evoked oscillations. 60 young adults with ages ranging from 18-29 volunteered to this study. They were randomly divided into three groups: somatosensory, visual and auditory and received one of these sensory stimulus respectively. The tactile stimulus was given means a pneumatic stimulator. Each volunteer was seated in a electromagnetically- and soundproof and dimly illuminated room. Surface electrodes were placed according to the international 10-20 system and electroencephalographic (EEG) recordings were made. The subject received 60 stimuli with a random interstimulus interval in one session. After artefact rejection, maximum amplitudes 1000 ms poststimulus of filtered EEG recordings were statistically analysed with ANOVA. Our results show that tactile stimulation to the index finger show an overall significant delta response (0,5-3,5 Hz) and different from auditory and visual evoked oscillations, alpha (8-13 Hz) and teta (4-7 Hz) responses over primary and secondary sensory cortices. All three sensory modalities evoked an overall beta (15-30 Hz) and gamma (28-48 Hz) response in the human cortex. We conclude that especially slow rhythms are sensory modality specific brain oscillations which may serve as a tool in rehabilitation research in the future.

Keywords: somatosensory evoked potentials, brain oscillations, ERO, tactile, pneumatic stimulation,

İçindekiler:

Özet	4
Abstract	5
1. GİRİŞ :	7
2. AMAÇ:	8
3.1. BEYİN ARAŞTIRMALARI TARİHİNE KISA BAKIŞ:	9
3.2. BEYİN ARAŞTIRMA METOTLARI:	10
3.2.1. <i>Beynin Görüntülenmesi Sağlayan Donanımlar</i>	10
3.2.2. <i>Nöron düzeyinde kayıtlama</i> :	11
3.3. BEYİNİN UYARILMIŞ POTANSİYELLERİ	13
3.4. SİNİR AĞI İLETİŞİMİNDE PRENSİPLER:	14
3.5. DUYU YOLLARI	15
3.5.1. <i>PARALEL İŞLEMLEME</i>	16
3.5.2. <i>TALAMUS VE FONKSİYONU</i>	17
3.5.3. <i>SEREBRAL KORTEKS: ANATOMİSİ VE GLOBAL FONKSİYONU</i>	17
3.5.4. <i>ASOSİYASYON KORTEKSLERİ</i>	18
3.6. UYARILMIŞ POTANSİYELLERİN KLİNİK UYGULAMALARI:	19
3.6.1. <i>Görsel Uyarılmış Potansiyeller (VEP)</i> :	19
3.6.2. <i>Somatosensoriyel Uyarılmış Potansiyeller (SEP)</i> :	20
3.7. BEYİN İŞLEVLERİNDE SÜPER-SİNERJİ PRENSİBİ	21
3.7.1. <i>Beynin genel ritimleri</i> :	22
4. GEREÇ-YÖNTEM:	23
4.1. Çalışma Evreni:	23
4.2. Gereçler:	23
4.2.1. Kullanılan donanım:	24
4.3. Yöntem :	25
4.4. Kayıt Düzenegi:	26
4.5. Analiz:	27
4.5.2. <i>Sayısal Filtreleme/Uyarılmış Osilasyonlar</i> :	29
4.6. İstatistiksel Analiz:	29
5. BULGULAR:	30
5.1 Delta Bandında SEP Yanıtları:	41
5.2 Delta Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:	41
5.3 Teta Bandında SEP Yanıtları:	43
5.4 Teta Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:	43
5.5 Alfa Bandında SEP Yanıtları:	45
5.6 Alfa Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:	45
5.7 Beta Bandında SEP Yanıtı:	47
5.8 Gamma Bandında SEP Yanıtı:	49
5.9 Gamma Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:	49
6. TARTIŞMA:	50
6.1.1. <i>Alfa osilasyonları</i>	50
6.1.2. <i>Diğer osilasyonlar</i>	51
6.2. Somatosensoriyel korteks aktivitesiyle ilgili literatür	52
6.2.1. <i>Somatosensoriyel kortekste mü ritmi (Rolandik mü ritmi)</i>	52
6.2.2. <i>Somatosensoriyel kortekste yüksek frekanslı osilasyonlar (300-1000 Hz)</i>	53
6.2.3. <i>Somatosensoriyel uyaranla yapılan olaya ilişkin potansiyel çalışmaları</i>	53
6.2.4. <i>Ekstraselüler ölçüme dayalı deneysel çalışmalar</i>	54
6.3. Çalışmamızın özgünlüğü	54
7. SONUÇ VE ÖNERİLER:	55
8. KAYNAKLAR:	56

1. GİRİŞ :

Özellikle son on yılda, beynin faaliyetinin anında görüntülenmesini sağlayan ileri teknoloji sayesinde belli alanların farklı işlevlerden sorumlu olduğu doğrulandı. Örneğin telefon numaralarının beyindeki "adres"i, yüzleri anımsadığımız adresten farklı; ünlü bir yüzü anımsarken kullandığımız nöral bağlantılarla en yakın arkadaşımızın yüzünü anımsarken kullandıklarımız da.

Yine de bilişsel işlevlerin -harita üzerindeki kentler gibi- beyindeki belirli noktalarda sabitlenemeyeceği görüşü giderek netlik kazanmaktadır. Belirli bir zihinsel görev, beynin her yanındaki devrelerle değişen oranlarda etkileşime giren karmaşık bir devreler ağı aracılığıyla gerçekleştiği fikri giderek destek bulmaktadır.

Beyindeki işleyiş süreçlerinin aydınlatılması kuşkusuz fiziksel rehabilitasyon bilimine doğrudan katkı sağlamaktadır. Fizyoterapi ve rehabilitasyon uygulamalarının diğer tıp dallarından daha fazla hastanın aktif katılımını ve çabasını gerektirmektedir. Hastanın motivasyonu, öğrenme kabiliyeti, yaşam stratejileri ve diğer bilişsel işlevleri tedavinin sonuçlarına etki etmektedir. Nörolojik rehabilitasyonda en yaygın kullanılan ve kabul gören konsept nörogelişimsel konsepttir ve başlıca kaynağı Jackson'un hiyerarşik sinir sistemi düzenidir. Terapistlerce yaygın olarak kullanılan Bobath yönteminden (Bobath 1978) sonra geliştirilen en kayda değer nörolojik rehabilitasyon yaklaşımı, Shepherd'in tanımladığı (1982) MRP (Motor Relearning Programme) veya "task oriented movement therapy"sidir ve temelini son dekadlarda yapılan motor öğrenmeye ilişkin nörobilimsel bulgulardan alır. Fizyoterapistler arasında yaygın olarak tanınan *Constraint Induced Movement Therapy* (Taub 1994) gelişimiyle beyinde plastisite araştırmaları paralellik göstermektedir. Gündemdeki beynin sistem teorileri ve paralel işleme kuramları gelecekte fizyoterapi yaklaşımlarını acaba ne kadar şekillendirecektir? Yapay sinir ağı yapımı üzerinde çalışan mühendislik dalları giderek rehabilitasyon teknolojilerini de şekillendirmektedir.

Fizyoterapi ve rehabilitasyon bilimi diğer bilim dallarındaki gelişmelere paralel olarak ve çağın gereklilikleri doğrultusunda bilimsel çerçevesini, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de genişletmek zorundadır. Bu bakış açısıyla araştırmamız öncül bir çalışma niteliği taşımaktadır.

2. AMAÇ:

Fizyoterapi ve rehabilitasyon yaklaşımları içinde özellikle nörolojik rehabilitasyon, somatosensoriyel yolları kullanarak merkezi sinir sistemi plastisitesini harekete geçirmek yoluyla bireyin işlevselliğini arttırma çabasına dayanır. Somatosensoriyel algının işlenmesi, beyin bir bütün olarak çalışma sisteminin aydınlanması, motor öğrenme, plastisite gibi nörobilimsel konularda yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular fizyoterapi ve rehabilitasyon uygulamalarının optimum uygulanabilmesi ve olası yeni rehabilitasyon yöntemlerinin geliştirilmesi için temel olacaktır. Ayrıca, rehabilitasyonun temel dayanaklarından biri olan nöromuskuloskeletal değerlendirme yöntemleri içinde taktil (dokunsal) değerlendirme hastalık seyrinin izlenmesi, özür lülüğün derecesinin belirlenmesi, uygun terapi yönteminin seçilmesi ve hastanın olası tehlikelerden korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Konvansiyonel değerlendirme yöntemleri derin ve yüzeysel duyu kabaca değerlendirirken hastanın aktif katılımını gerektirmekte ve hastanın verdiği subjektif yanıtlara dayandırılmaktadır. Bu da uygulanan değerlendirme yönteminin kullanım alanını ve güvenilirliğini kısıtlamaktadır. Somatosensoriyel uyarana doğrudan beyin yanıtlarını değerlendiren bir nörofizyolojik yöntemin kullanılması bu ve benzeri alanda yapılacak bilimsel araştırmalara yeni yollar açacaktır. İleri araştırmalara temel teşkil etmesi amacıyla araştırmamız üniversitemiz bünyesinde bulunan ve amacı beyin işleyişinin temel konseptini aydınlatmak olan Beyin Dinamiği Multidisipliner Araştırma Merkezinin başlıca araştırma metotları ve kuramları doğrultusunda planlanmıştır. Dokunsal uyarana karşılık sağlıklı genç bireylerin beyin osilasyon yanıtları incelenmiştir. İlk defa kullanılacak olan donanım ve ölçümlerin daha iyi değerlendirilebilmeleri için, sonuçlar daha önce çalışılmış olan görsel ve işitsel uyarılmış beyin osilasyon bulgularıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Sorular:

- 1.) Uyarılmış potansiyellerde saptanan farklar uyarının türüyle bir özdeşlik gösterecek mi?
- 2.) Bu farklılıkların topolojik dağılımları duyu türlerinin işleme süreçlerine dair bir ipucu verecek mi?

3. GENEL BİLGİLER:

3.1. BEYİN ARAŞTIRMALARI TARİHİNE KISA BAKIŞ:

- Eski Yunanlılar MÖ 4. yüzyılda beyni zekanın bulunduğu yer olarak tanımlamışlardır. Fakat daha sonra kalbin, kişiliğin ve davranışların kaynağı olarak benimsendiği bir 800 yıllık süreç araya girmiştir.
- Descartes (1641) beden-zihin problemine kendi yaklaşımını getirmiştir. Teorisi beden ve zihnin ikiliği (dualizm) üzerine kurulmuştu, ancak beden de tek başına karmaşık davranışlar ortaya çıkarabileceği görüşünü ifade etmiştir.
- Dördüncü yüzyıldan 14. yüzyıla kadar ventriküller mantığın kaynakları olarak kabul edildi.
- Descartes pineal bezi ruhun beden üzerindeki etkisini gösterdiği yer olarak tarif etti.
- Frenoloji, beyinin çeşitli alanlarına büyüklüklerine göre özellikler atfetmiştir.
- Broca (1861) kesin olarak sol hemisferde localize olan lezyonların dil bozukluklarıyla ilişkili olduğunu göstermiştir.
- Galvani (1791) sinirlerin elektriği ilettiğini göstermiştir ve sinirsel aktivitenin elektriksel olduğu sonucuna varmıştır.
- 1875'te icat edilen Golgi stain, nöroanatomistlere izole nöronların tanımlanmasına olanak vermiştir. Cajal 1889'da bu yöntemi çeşitli nöron tiplerini çizmek için kullanmıştır.
- Loewi (1921) iki nöron arasındaki iletişimin kimyasal ileticiler aracılığıyla gerçekleştiğini göstermiştir.
- 20. yüzyılda sinir iletiminin prensipleri belirlenmiştir.
- Görsel ve işitsel algının ve belli açılardan belleğin biyolojik temelleri belirlenmiştir.
- Bu yüzyılın sonlarına doğru nöronların gelişimine rehberlik eden süreçler belirlenmeye başlanmıştır. (1)

3.2. BEYİN ARAŞTIRMA METOTLARI:

- 1) **Lezyon Oluşturma:** Lezyon bölgesinin davranış ve işlevde yarattığı değişikliğin incelenmesi
- 2) **Stimulasyon:** Beyin dokusunun elektriksel olarak uyarılması ve etkilerinin incelenmesi (Penfield 1950)
- 3) **Elektroensefalografi (EEG):** Sinir hücrelerinin veya hücre topluluklarının aktivitelerinin yüzey elektrotlarla kaydedilerek incelenmesi.
- 4) **Farmakolojik Manipulasyon:** Sinir iletişimini etkileyen ilaçların kullanılması.

Günümüz araştırmalarında EEG ve farmakolojik manipulasyon yöntemlerinin yanı sıra beyin yapısal görüntülenmesini sağlayan donanımlardan faydalanılmaktadır.

3.2.1. Beynin Görüntülenmesi Sağlayan Donanımlar

a) Yapıyı görüntüleyen donanımlar:

Bilgisayarlı Tomografi (BT/CT), Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR/MRI):

Beyin yapılarını görüntüler, lezyonların saptanmasını ve lokalize edilmesini sağlar.

b) Yapı ve işlevi görüntüleyen donanımlar:

Pozitron Emisyon Tomografi (PET), Fonksiyonel MR (fMRI): Beyindeki kan akımı değişikliklerini saptar. PET işaretlenmiş kimyasalların izlenmesine ve lokalize edilmesine olanak verir. fMRI PET'ten daha hızlıdır ve çözünürlüğü daha yüksektir ve işaretli madde enjeksiyonu gerektirmez .

Sayılan beyin araştırma metotlarından güncel, *non-invasive* ve görece ucuz olan yöntem beyin elektriksel etkinliğini kaydeden EEG yöntemidir. Elektriksel aktiviteyi hücre düzeyinde de ölçmek mümkündür. Nöron düzeyinde kayıtlamanın iki türü vardır.

3.2.2. Nöron düzeyinde kayıtlama:

Delgado (1964): “Hücre aktivitesi elektriksel potansiyel değişimlerinin hücre içinde veya ekstraselüler sıvıdan kaydederek incelenebilir.” (2)

- 1- **Ekstraselüler kayıt:** Tekniği, bir mikro elektrotun (ucu 10 µm çapında veya daha ince) bir nöronun yakınına yerleştirilmesi ve nöronun spike deşarjlarının hep-veya-hiç yöntemiyle kaydedilmesinden ibarettir. Thompson 1967’de bu metot ile birden fazla hücrenin aktivitesinin aynı anda değerlendirilemediğini ve hücre gövdesi veya dendritlerden başlayan ve dereceli olarak değişen potansiyellerin saptanmasının mümkün olmadığını ifade etmiştir (3). Fakat bir hücrenin ateşleyip ateşlemediği konusunda tam bilgi vermektedir. Spike deşarjlarının bir nörondan diğer nörona bilgi aktardığı tek mekanizma olduğu için, bu kayıtlama yöntemi sinir sisteminin temel verisi olarak değerlendirilebilir.
- 2- **İntraselüler kayıt:** Bu metot 1957’de Eccles (4) tarafından nöronların biyofiziksel özelliklerinin incelenmesi, duysal algı mekanizmalarının ve nöroanatomik bağlantıların inceliklerinin anlaşılması amacıyla kullanılmıştır. İntraselüler kayıt, ucu 1µm ve daha küçük çapta cam pipetten oluşan bir mikro elektrotun hücre içine yerleştirilmesi ve hücre içi ile ekstraselüler sıvı arasındaki potansiyel farkının ölçülmesinden ibarettir. İnaktif bir nöronda istirahat membran potansiyeli, -70 µV’tur. Spike deşarjı sırasında membran potansiyeli 100 µV civarında yavaşça pozitif yöne kayar (aksiyon potansiyeli). Spike deşarjının ekstraselüler metotla da kaydedilebilmesine rağmen intraselüler metotun üstünlüğü spike deşarjına neden olan veya ona engel olan dereceli olarak artan veya azalan potansiyellerin de kaydedilebilmesidir. En önemli üstünlüğü baskılanan deşarjların da saptanabilmesidir.

Nöral topluluklarının elektriksel aktiviteleri:

Toplu yanıtlar: Tek bir nöron veya sinir lifinden fazla sayıda hücrenin aktivitesi kaydediliyorsa burada bir hücre topluluğunun toplu yanıtının kaydı söz konusudur. Bu girişime çoğunlukla “gross- kayıtlama” (gross recordings) adı verilmektedir. “Gross” elektrodlar ya dokuyla doğrudan temas halinde veya bir elektrolitik sıvı aracılığıyla bağlıdır. Skalp (saçlı deri) elektrotları için potasyum klorid (KCl) içeren bir jel ile iletkenlik sağlanır.

Beynin spontan elektriksel aktivitesi:

EEG: Beynin spontan elektriksel aktivitesi ilk Caton tarafından 1875 yılında gözlemlenmiştir (5). Daha sonra önemli sayıda hayvan beyninde elektriksel aktiviteye yönelik araştırma yapılsa da insan beyninden alınan ilk elektroensefalogram (EEG) Hans Berger tarafından 1929 yılında yayınlanmıştır. EEG’da saçlı deriye yerleştirilen iki elektrot arasındaki potansiyel farkları kaydedilmektedir. Bipolar kayıta her iki elektrot saçlı deriye elektriksel olarak aktif dokunun üzerine yerleştirilir. Monopolar kayıta aktif elektrot saçlı deri üzerine, diğer elektrot (referans elektrot) ise elektriksel olarak inaktif kabul edilen bir dokuya, çoğunlukla kulak memesine tutturulur. Her elektrot çifti bir amplifikatöre bağlanır ve elektriksel potansiyel farkları bir mürekkepli yazıcı aracılığıyla veya elektronik osiloskop aracılığıyla görüntülenmektedir.

Herhangi iki elektrot arasında nerdeyse kesintisiz meydana gelen elektriksel potansiyellerdeki salınımların değişik bilinç düzeylerinde farklı elektrot lokalizasyonlarına göre frekansları ve amplitüdüleri değişmektedir. Bu salınımlar kısmen değişerek de olsa heyecan, uykululuk, uyku ve koma halleri, anestezi altında, epileptik nöbetler sırasında, kan gazı veya serebral metabolit konsantrasyon değişimlerinde varlıklarını sürdürmektedirler. Teorik olarak bu dalga formundaki potansiyel değişiklikleri beyin aktivitesinin doğrudan ve ölçülebilir göstergeleri olarak kabul edilebilirler (5). Kaydedilen potansiyel dalgalarının frekansları geleneksel kayıtlarda 0.5 Hz ile 100 Hz arasında değişmektedir ve kafa derisinden alındıklarında amplitüdüleri 10 ile 200 μ V arasındadır. Hans Berger’in çalışmalarıyla birlikte önce alfa frekans bandı (8-13 Hz) ayırd edildi ve bunu beta bandı (15-30 Hz) izledi. Daha sonra uyku çalışmalarıyla daha yavaş olan teta ve delta frekans bandları ayırd edildi. Beynin salınımsal yanıtları üzerine araştırmaların hız kazanmasıyla birlikte gamma frekans bandına (30-45 Hz) dikkat çekilmiş oldu. Bu frekansların beyin işlevsel durumuyla korelasyon içinde olduğu bulundu.

Alfa ritmi: Sessiz bir odada normal bir insanın gözleri kapalı, istirahat halindeyken çekilen EEG’deki dominant ritim 8 - 13 Hz’dir. En yüksek amplitüdülerini pariyetal ve oksipital bölgelerde göstermektedir. Normal alfa ritmi amplitüd ve bölgesel dağılımda kişisel farklılıklar gösterebilmektedir hatta bazı normal işlevsel beyinlerde alfa aktivitesi görülmemektedir.

Alfa ritminin blokajı: Bazı durumlarda alfa ritmi baskılanır veya önü kesilir ve yerine düşük voltajlı yüksek aktivite ortaya çıkar. Bu durum gözlerin açılmasıyla, yoğun duysal uyarımla, yoğun dikkatle veya zihinsel aktiviteyle, örneğin problem çözmek gibi, meydana gelebilir. Çocuklarda 3 yaşına kadar alfa ritmi gözlemlenmez. İleri yaşlarda ise oksipital bölgeden frontal bölgeye doğru yoğunluğu yer değiştirir.

Beta ritmi: İnsan beyninde frontal bölgelerde dominant aktivite daha düşük amplitüdü ve daha yüksek frekanslı (14-30 Hz) bir ritimdir. Beta ritminden çoğunlukla “aktive” veya “desenkronize” pattern olarak bahsedilir.

Teta ve delta ritimleri: Normal bireylerden alfadan daha düşük frekanslı dalgalar uyanık haldeyken nadiren görülmektedir. Yenidoğanlar dışında uyanık durumdayken görülmeleri, beyin hasarına veya hastalığına işaret etmektedir. Yavaş dalgalar teta (3-8 Hz) ve delta (0.5-3.5 Hz) ritimleridir ve daha çok derin uykuda ortaya çıkan ritimlerdir .

3.3. BEYNİN UYARILMIŞ POTANSİYELLERİ

EEG doğrudan veya periferik belirleyici uyarıcı (elektriksel, görsel, işitsel...) tarafından etkilenir. Böylelikle meydana gelmiş beyin elektriksel aktivitesindeki değişikliğe “uyarılmış potansiyel” (evoked potential= EP) denir. Birbirinin aynı ardışık uyarımların yarattığı uyarılmış potansiyellerin ortalaması alındığında elde edilen potansiyel averajlanmış (vasati) EP’dir.

Henüz 1930’lu yıllarda Berger’in çalışmalarına paralel olarak Marshall ve ark. deney hayvanlarında cilde dokunulduğunda spontan EEG’den belirgin farklılık gösteren ve insanda postsantral girusa karşılık gelen alanda (Brodmann 1. alanı) elektriksel aktivite saptamışlardır. Ancak ortaya çıkan potansiyellerin arka planda sürüp giden beyin aktivitesinden belirgin hale gelmesi için daha ileri bir tekniğe başvurulması gerekiyordu. Radar teknolojisi içinde geliştirilen, karmaşık ve gürültülü bir sinyal içinden özellikli sinyalleri görüntülemeyi sağlayan elektronik süperpozisyon tekniği ilk kez Dawson tarafından 1947 yılında nörofizyoloji alanında kullanılmıştır. Pek çok birim zamanlık *sinyal dilimi* (sweep) osiloskoba üst üste yansıtıldığında zamansal olarak karşılaştırılan potansiyeller daha açık renkte ayırt edilebiliyordu. Daha sonra uyarılmış potansiyelleri içeren sweep’leri karşılaştıran elektromekanik kondansatörler kullanılmıştır ki bunlar da şimdilerde uyarılmış potansiyellerin analizinde kullanılan elektronik aygıtların öncüsü olmuştur.

Uyarılmış potansiyeller, periferel bir duyu organının veya duysal sinirin veya duysal yolda bir noktanın veya duysal sistemde herhangi bir yapının uyarılmasına karşılık beynin herhangi bir bölümünde meydana gelen saptanabilir elektriksel değişiktir (7). Uyarılmış potansiyeller beynin herhangi bir bölümünden doğrudan ölçülebildikleri gibi insan saçlı derisinden de kaydedilebilmektedirler. EP'ler beyindeki spontan elektriksel değişimlerden pek çok açıdan ayırt edilebilirler; özellikle kayda değer olan şunlardır:

a) Uyararla kesin bir zamansal ilişki vardır. Bir başka deyişle, uyarın yeri ve kayıt yeri arasındaki mesafe iletim hızından kaynaklanan latent süreyi belirler.

b) Belli bir sisteme özgü belirli bir yanıt paterni vardır ve bu benzer koşullarda öngörülebilir niteliktedir (7).

Önceleri salt egzogen uyarılarla yapılan araştırmalara (görsel, işitsel, somatosensoryel) ilgi uyandıran endojen çeşitlemelerle yapılan araştırmalar (dikkat, bellek, tanıma...). Olaya ilişkin potansiyel (OİP) (*event related potentials = ERO*) olarak tanımlanan bu bulgularla birlikte neredeyse beynin tüm aktivitelerini tanımlamanın mümkün olabileceği görüşü ortaya çıkmıştır (Birbaumer ve Schmidt 1999) (19).

3.4. SİNİR AĞI İLETİŞİMİNDE PRENSİPLER:

Nöral çalışma prensipleri Eccles tarafından 1957'de tanımlanmıştır (4).

- 1- Beyindeki iletim uzak mesafelere sinir impulslarının ilerlemesiyle gerçekleşmektedir.
- 2- Diverjans Prensibi: Bir nöron aksonu yüzlerce dallanma yapar bu da geniş yüzeyli bilgi iletimi imkanı verir çünkü bir nöron aksiyon potansiyeli tüm akson dallarına iletilir ve bağlantılı sinapslar aktive olur. Diverjans sayısı 10 kadar düşük olabilse de genellikle yüzlerce sayıda nöronla bağlantı vardır.
- 3- Konverjans Prensibi: Bütün nöronlar pek çok sayıda nöronla ve genellikle farklı türlerden sinaps oluştururlar (6,8). Aynı zamanda hem uyarıcı hem inhibe edici (baskılayıcı) ileti alırlar. Bir nöronun tamamen uyarıcı sinapsa sahip olma olasılığı kuşkuludur ve sadece baskılayıcı uyarın alan bir nöron örneği bulunmamıştır. Tek bir nörona etki eden sinaps sayısı yüzlerle ve

binlerle ölçülür. Saptanabilen en yoğun snapsa bağlantılı nöronda sayı 80 000 civarındadır.

- 4- Snaptik iletinin dönüşümlü olarak elektrikselden kimyasala ve tekrar elektriksele dönüşme (transmutasyonu) prensibi: Sinir sisteminin integratif özelliği bu prensipten kaynaklanmaktadır. Bir nöronal deşarjın meydana gelebilmesi için çok sayıda konverjansa ihtiyaç vardır ve aynı şekilde bir deşarjın baskılanması için yüksek snaptik inhibisyon olasılığı vardır. Bu sinir sistemine uyarının modülasyonu olanağını verir.
- 5- Temel nöral ateşleme prensibi (*neural background firing*) : Beyinde temel bir düzensiz faaliyet süregelmektedir ve incelenen nöral aktivasyonlar bu faaliyetin (ateşlemenin) üzerine süperpose olurlar. Eccles'a göre uykuda korteksimizden impulslar ateşlenmeye devam etmektedir. Bu bazal aktivite içinde tek bir sinir yolunun aktivitesi kaybolmaktadır. Sinir liflerinin demetler halinde organize olmalarının sağladığı şey, aynı tip nöronların benzer inputlar alıp aynı tip kodlamayla yine bir başka nöron topluluğuna taşımalarıdır. Bu paralel dizilim ve toplu eylem temeldeki düzensiz deşarj gürültüsüne rağmen seçilebilir ve güvenilebilir bir sinyal yaratıp bilginin yerine ulaşmasını sağlamaktadır.

3.5. DUYU YOLLARI

Organizmamızdaki duysal sistemler uyarılarla gelen bilgiyi periferden almak, işlemek ve geciktirerek üst merkezlere iletmek üzere organize olmuşlardır. Görüntünün, sesin, kokunun, tadın, ağrının ve vücut hareketlerinin algılanması merkezi sinir sisteminin (MSS) en önemli işlevlerindedir. Dış dünya ile temas, reseptör adı verilen özelleşmiş nöral yapılar aracılığıyla olur. Reseptör düzeyinde vücudumuzu etkileyen çeşitli doğal uyarın nöral açıdan anlamlı sinyallere dönüştürülür. Beynimize çevreden ve vücudumuzun içinden sürekli bilgi akar: kan damarlarından, iç organlardan, iskelet kaslarından. Farklı kaynaklardan bilgi taşıyan sistemleri ayırt etmek için duysal sistemler 3 kategoriye ayrılmıştır: Eksteroseptif, propriyoseptif ve interoseptif (6,8).

Dış ortamdan gelen fiziksel uyarıcılar çeşitli tipteki alıcıları (reseptör) tarafından alınarak duysal sistemimizde çeşitli duygular meydana getirirler. Ana duysal yollar ilgili

reseptörlerden bilgiyi kortekse taşırlar. Duyusal fizyolojinin güncel ana araştırma konusu her duysal yol için, kullanılan kod sisteminin özgünlüğünü ve hangi paternde işlediğini belirleyebilmektir. Duyusal sistem, periferi spinal, beyin sapı, talamus, ve korteks yapılarına bağlayan bir dizi nöron zincirinden oluşmuştur. Her bir yapıda bilginin işlenmesi ve diğer bilgilerle karşılaşması olasılığı vardır. Bir duysal yol uyarın tipine özgü birbirleriyle snaps yoluyla bağlı nöron dizilerinden meydana gelmiştir. Bu bağlantılar çeşitli nöral devreleri oluşturmaktadır. Duyusal yollar içindeki ve onlarla bağlantılı olan devrelerin toplamı duysal sistemi oluşturmaktadır. Farklı duysal sistemlerdeki devreler bazı ortak özelliklere sahiptirler.

Birincil duysal sinirlerin aksonları dallanarak birden fazla nöronla snaps yaparlar (diverjans). Bununla beraber bir nöron çok sayıda aksondan ileti alır (konverjans). Bu özellik iç bağlantılarda olduğu gibi farklı merkezler arasındaki bağlantılarda da görülmektedir. Böylelikle bir aksondan gelen bilgi birden fazla merkeze ulaşabilmekte ve bir merkeze birden fazla kaynaktan bilgi ulaşabilmektedir. Bir duyu yolundaki seri bağlantılar olasılıkla zamansal dizilimli olayları beraberinde getirmektedir. Diverjans ve konverjans nedeniyle ardıl düzeylerde oluşan paralel bağlantılar, farklı bilgi formlarının aynı anda transfer ve kombine edilmesine olanak vermektedir. Paralel işleme duysal yollarda olduğu gibi genel olarak nöral sistemlerde doğal olarak vardır. Bazı santral yollar öncelikle tek bir tip reseptörden alınan bilginin taşınmasıyla ilgilidir; bunlar özgün (spesifik) duyu yolları olarak adlandırılmaktadırlar. Başka yollar liflerin diverjansı ve diğer girdi tipleriyle konverjansı sonucu giderek multimodal ve nonspesifik hale gelirler. Son olarak merkezden periferiye giden bağlantılar feedback sağlama veya bir yapıdan başka bir yapıya bilgi aktarma olanağını oluşturmaktadırlar. Nörofizyolojide önemli kavramalardan bir tanesi de “reseptif alan” kavramıdır. Duysal yolda yer alan her bir nöron için “reseptif alan” aktivitesine etki eden tüm duysal reseptörleri kapsamaktadır.

3.5.1. PARALEL İŞLEMLEME

Beyin işlevlerinde paralel işlemlenin yeri büyüktür. Örneğin, görsel bir nesnenin veya bir melodinin algılanmasında ilgili duysal sistemin farklı bileşenleri bilgiyi taşır ve işler ve bunların bileşimi o duyunun algılanmasını sağlar. Süreç şu şekilde gerçekleşir: Her duysal sistem önce alınan duysal bilgiyi ayırıştırır sonra duysal deneyimin değişik yönlerini seçici olarak işleyen farklı bileşenlerin bilgilerini bir araya getirerek algıyı oluşturur.

3.5.2. TALAMUS VE FONKSİYONU

Talamusu epitalamus, dorsal talamus ve ventral talamus parçaları halinde incelemek mümkün. Dorsal talamusun çekirdekleri benzer yapı ve sinaptik organizasyon gösterirken, ventral talamus ve epitalamusta durum böyle değildir. Bir saptama da, geciktirici çekirdeklerin içindeki bazı hücre toplulukları topografik olarak düzenli bir şekilde belli bir veya bir çift korteks alanına projekte olurken, bazı hücre gruplarının yaygın olarak birkaç korteks alanına projekte olabildiğidir (9). Bu grubun bir başka saptaması da başlıca talamus geciktirici çekirdeklerin içinde hem modalite ve reseptif alan özellikleri hem de kortekse giden yol ve kortikal alan bakımından özgünlük taşıyan hücre topluluklarının varlığıdır. Yani çekirdek içindeki bazı nöronlar hiç dal vermeden belli bir yerden uyarana alır ve belirli bir kortikal alana iletirler. Grubun çalışmaları korteksteki intralaminer projeksiyonların, talamus çekirdeklerinin ve diğer çekirdeklerin kortikal projeksiyonlarının çoğunlukla birinci katmanda (Layer I) sonlandığını göstermiştir. “Nonspesik afferentler” olarak adlandırılan bazı sinir liflerinin talamusta sinaptik bir gecikmeye uğramadan serebral korteksi innerve ettiği kabul edilmektedir. “nonspesifik” terimi liflerin yaygın olarak arkitektonik sınır göstermesinden ileri gelmektedir.

3.5.3. SEREBRAL KORTEKS: ANATOMİSİ VE GLOBAL FONKSİYONU

Korteks fissür ve girus denilen girintilerle bölünmüş bir görünümündedir. Her hemisfer dört loba ayrılmıştır ve üzerlerini örten kafatası kemiklerinin adını almışlardır: Frontal , pariyetal, temporal ve oksipital. Beyin korteksinin büyük bölümü hareket ve duyu işlemeye ayrılmıştır. Doğrudan işlevle ilişkili alanlar birincil, ikincil, üçüncül motor ve duysal alanlar olarak isimlendirilirler. Fizyoloji literatüründeki çok sayıda bulguya göre birincil motor kortekste, presantral girus içinde yer alan bazı hücreler doğrudan spinal korteksi projekte olurlar.

Kelly ve Dodd (1991): “kortekste birincil duysal alanlar (görsel, işitsel, somatosensoryel) periferel reseptörlerden sadece az sayıda snaps yaparak bilgi alırlar. Birincil görsel korteks oksipital lobun arkasına yerleşmiştir. Birincil işitsel korteks temporal lobda yer alır ve somatosensoryel korteks postsantral girustadır (10).”

Birincil duyu merkezleri ikincil ve üçüncül üst düzey duysal ve motor alanlarla çevrelenmişlerdir. Bu üst düzey kortikal alanlar, tek bir duysal türün veya motor işlevin birincil duysal alana göre daha karmaşık olan yönlerini işlerler. Üst düzey duysal alanların amacı, birincil duysal alanlarda açığa çıkan bilginin detaylı bir analizini ve entegrasyonunu sağlamaktır. Üst düzey kortikal alan sınıflamasına giren bir diğer alan da posterior pariyetal kortekstir. Bu alan duysal ve motor alanların geçiş bölgesi gibidir. Sadece somatik duyu ve görsel algının üst düzey duyu alanı değil aynı zamanda his ve hareketin bazı yönlerini de birleştiren bir yerdir (19).

3.5.4. ASOSİYASYON KORTEKSLERİ

Kelly ve Dodd (1991) kortekste “asosiyasyon korteksi” adı verilen ve birincil, ikincil ve üçüncül duyu alanları dışında kalan üç adet geniş korteks alanı olduğunu bildirmişlerdir (10). Primatlarda asosiyasyon korteksleri geniş arayla en büyük alanları kaplamaktadırlar. İşlevleri başlıca, çeşitli bilgileri amaca yönelik bir eylem ortaya çıkarmak üzere birleştirmek ve çeşitli ölçülerde beynin üç ana işlevinin kontrolüne katkıda bulunmaktır: algı, hareket ve motivasyon.

Pariyetal-temporal-okspital asosiyasyon korteksi, ismini aldığı üç korteksin bileşim yerinde bir alan kaplamaktadır. İşlevi, bu lobların birincil duysal girdileri olan somatosensoryel, işitsel ve görsel duyuya ait yüksek algısal işlevle ilgilidir. Farklı duyu türlerinden gelen bilgi, bu çağrışım korteksinde karmaşık algılar oluşturmak üzere kombine edilirler.

Prefrontal asosiyasyon korteksi frontal lobun ön bölümünün büyük bir alanını kapsar. Bu alanın önemli bir işlevi de istemli hareketin planlanmasıdır.

Limbik asosiyasyon korteksi serebral hemisferlerin pariyetal, frontal ve temporal lobları içine alan alt medial yüzeylerinde yer alır ve genel işlevi motivasyon, emosyon ve bellek ile ilgilidir.

Son zamanlarda yapılan nörobiyolojik araştırmalar temel algılamalarda ve hareket paterninde dahi dağılmış korteks alanlarının koherent ve paralel aktivitesini gerektirdiğini ortaya koymuştur (11,12,13,14) bu bağlamda son 30 yılda özellikle görsel işlevler incelenmiştir (15,16). Günümüzde bakıldığında, görsel algıya yönelik araştırmalar genel duysal entegrasyon probleminin yalnızca bir yönünü teşkil etmektedir. Diğer duysal sistemlerde de ve motor sistemde yüksek düzeyde dağılmış ve paralel işleyen bilgi akımı söz

konusudur. Bunun yanında organizmada anlamlı bir davranış açığa çıkarabilmek için bütün sistemler birbirleriyle bağlantılı ve amaca yönelik olarak koordineli çalışmak zorundadırlar. Beyinde tüm farklı duyu tiplerinin (görsel, işitsel..) projekte olduğu özelleşmiş tek bir alan bulunmamaktadır. Bu nedenle pek çok teorisyen kristalleşen farklı alt sistemlerin birbirleriyle dinamik bağlantılarını mümkün kılan konseptler geliştirmektedirler. Burada yine senkron nöral aktivitenin rolü vurgulanmaktadır. Buna göre tek bir objenin veya durumun algılanmasında asıl vurgu topolojik ve anatomik olarak farklı beyin alanlarında bilgi işlenirken zamansal uyuma düşmektedir. Bu çalışmanın amacı en çok kabul gören zamansal kodlama modelini baz alarak (17,18,19) daha önce çalışılmış görsel ve işitsel sinyallerin kodlanmalarıyla karşılaştırmalı olarak somatosensoriyel sinyallerin işlenmesiyle ilgili bilgi edinmektir.

3.6. UYARILMIŞ POTANSİYELLERİN KLİNİK UYGULAMALARI:

Uyarılmış potansiyeller, korteksin belirli bölgelerine projekte olan afferent uyarıların kortikal nöral aktivitesinin kaydedilmesi için kullanılmaktadır. Uyarılmış potansiyeller santral sinir sisteminin başlıca duyu yollarının bütünlüğünü kontrol eden elektrofizyolojik incelemelerdir. Klinikte en çok üç duyu yolu, görme, işitme ve hissetme ile ilgili yollar kontrol edilmektedir.

3.6.1. Görsel Uyarılmış Potansiyeller (VEP): Görme yollarının görme sinirinden başlayarak beyin kabuğunda temsil edildiği alana kadar olan bölümünü test eder. Bunun için hasta bir ekran karşısında doktorun önceden belirlediği bir mesafede oturarak genellikle dama tahtası şeklinde hazırlanmış ekranın orta noktasına bakar. İnceleme bu ekranın önceden belirlenen aralıklarla otomatik olarak kayması yani karelerin bu kaymayla birlikte yer değiştirmesi ile başlar. Her kayma ile birlikte göz sinirinde uyartılan ve buradan ilgili beyin kabuğu bölümüne ulaşan bioelektrik potansiyeller, başa takılan elektrodlar yardımıyla toplanır. Toplanan ve ortalaması alınan bu potansiyeller alet yardımı ile büyütülerek görünür hale gelir. Bu inceleme diğer göz kapatılarak her iki göz için ayrı ayrı uygulanır ve yine her iki göz için en az iki kez tekrarlanarak yanıtların rastlantısal şekiller olmadığı gösterilir. İncelemede en çok dama tahtası yöntemi kullanılmakla birlikte aralıklı ışık uyarısı, kayan çubuklar, renkli çubuklar da kullanılmaktadır. İnceleme bebeklere ışık uyarısı veren gözlükler yardımıyla uygulanmaktadır. Erişkinlere uygulanan göz muayenesine koopere olamayan bebeklerin görüp görmediği hakkında ciddi yardımları olmaktadır.

3.6.2. Somatosensoriyel Uyarılmış Potansiyeller (SEP): Bu incelemede de sinir sistemimizin diğer ikisine göre daha geniş fakat yine de işlevi sınırlı bir bölümü kontrol edilir. Burada uyaran kol, bacak, yüz veya vücudun diğer bir alanındaki motor veya duysal sinirlere ardısıra elektrik uyarısı olarak verilir. Her verilen uyarı karşılığında uyarılan sinirin vücuttaki gidiş yolu üzerinden ve uyarının sonlandığı beyin bölgesine uyan saçlı deriden belli yanıtlar kaydedilir. Bu yanıtların tekrarlanan uyarılarla ortalaması alınır. Çeşitli işaretlemeler yapılarak yanıtların zamana göre dağılımı, genlikleri ve şekilleri kontrol edilir. Uyarılan sinir yolu üzerinde herhangi bir sorun varsa beklenen yanıt gecikebilir, genliği düşebilir, şekli bozulabilir ve hatta tamamen kaybolabilir.

Yaygın olarak kullanılan geleneksel EP'lerin beynin EEG yanıtlarının ancak kaba bir ortalaması olduğu ve beynin içsel dinamik değişimlerine duyarsız kaldığı düşünülmektedir. Günümüzde beynin tetiklenmiş ritmik salınımları (event related oscillations=ERO) santral sinir sisteminin çalışma şeklini belirlemede değerli olduğu görüşü hakimiyet kazanmaktadır. Uyarılmış potansiyeller binlerce hücrenin toplanmış aktivitesini gösterdiğinden elektrik sinyali olarak kaydedilebilirler ve makroelektrotlar kullanılarak yazdırılabilirler. Pek çok araştırma merkezinde günümüzde, insanda ve hayvanda bilişsel süreçlerin aydınlatılması ve stereotipik davranışların anlaşılması amacıyla ERO çalışmaları yürütülmektedir. 1970'li yıllardan bu yana Başar ve ark. beyin salınımları üzerine yürüttüğü çalışmalar, beyin işlevlerinde salınımların süper-sinerji prensibine uygun çalıştığını ortaya koymuştur. Beyin kodu olarak salınımlar, Başar'a göre: EEG çeşitli frekans bantlarında ritmik aktivite üreten jeneratörler topluluğunun ürettiği aktiviteden ibarettir ve duysal bir uyarılma olduğunda bu jeneratörlerin aktivitesi birbirine kenetlenir ve KOHERANS oluşur (19). EEG aktivitesindeki bu senkronizasyon ve güçlenme, uyarılmış veya tetiklenmiş bir ritmisiteye neden olur (Başar 1980 "alfa cevabı", teta cevabı", 40 Hz cevabı vs.). Bu ritmisiteler herhangi bir duysal uyaran olmaksızın da ortaya çıkabilmektedirler. Örneğin bir bilişsel aktivite yüklenmesinin sonucu olarak. Yani koherent EEG halleri içsel olarak da tetiklenebilirler.

3.7. BEYİN İŞLEVLERİNDE SÜPER-SİNERJİ PRENSİBİ

Süper-sinerji prensibi 5 fiziksel fenomenin birleşiminden oluşur:

1. KOHERANS (zamansal ve uzaysal)
2. SEÇİCİ OLARAK DAĞILMIŞ SALINIMSAL SİSTEMLER
3. BASİT BAĞLANMA (simple binding)
4. ENTROPİ
5. SÜPERPOZİSYON PRENSİBİ

Beynin birbirinden uzak bölgelerinde eşzamanlı olarak gerçekleşen eşaktiviteye uzaysal KOHERANS denir.

SEÇİCİ OLARAK DAĞILMIŞ SALINIMSAL SİSTEMLER (selectively distributed oscillatory systems) teorisi: Alfa ,delta ve gamma sistemleri/networkleri beyinde seçici bir dağılım gösterir ve bu dağılımın özellikleri belirli duysal-bilişsel işlevlere işaret eder. Bu teoriye göre, bir duysal uyarın, bazı beyin yapılarında (örn. birincil görsel korteks, birincil işitsel korteks, hippocampus) 10 Hz (alfa) cevabını açığa çıkarmaktadır. Bu tip salınımsal cevapların eşzamanlı olarak farklı beyin yapılarında ortaya çıkması seçici olarak dağılmış salınımsal sistemlerin varlığına ve beyinde paralel işleme olgusunun (parallel processing) varlığına işaret etmektedir.

BASİT BAĞLANMA (simple binding): işlev sırasında kortekste hücreler arası zamansal koherans meydana gelir.

Beyindeki ENTROPİ zamansal ve uzaysal değişim içindedir. Entropisi yüksek olan bir sistem verilen bir uyarana yüksek cevap verirken, entropisi düşük olan bir sistem düşük cevap verir. Beyin işlevi açısından bakıldığında, beyin spontan aktivite düzeyi, uyarın sonrası cevapların şiddetini etkilemektedir. Buna “causality principle” adı da verilmektedir.

Bu kurama göre beyinde işlev, birden fazla tipteki salınımın (delta, teta, alfa, beta, gamma) “SÜPERPOZİSYONUNDAN” oluşur ve bunların güçlenmesi (enhancement), gecikmesi (delay), *bloklanması* (blocking) ve uzaması (prolongation) meydana gelir.

Rezonans fenomeninin genel teorisi doğrultusunda beyinde dağılmış *network*'ler bilgi transferini kolaylaştıran bir unsur olarak yorumlanmaktadır. Alfa cevabı beyin birden

fazla bölgesinde saptansa da uyaran tipi ve kayıtlanan bölgeyle sıkı bir ilişki içinde olduğu görülmektedir. Alfa cevabının verilen duysal uyarının beyindeki işleme merkeziyle uyum içinde olması, alfa salınımının birincil duysal işlemeyle ilgili özel bir rolünün olduğunu düşündürmektedir (20).

Yaygın (diffuse) sözcüğü frekans cevaplarının beyindeki dağılmış doğasını tanımlamak için kullanılmaktadır.

Bu frekanslardaki ritmik fenomenin gözlemlenen tek beyin subsisteminde tek olgu olmadığını vurgulamak gerekir. Bunların birbirinden uzak beyin yapılarında eşzamanlı olarak ortaya çıkmaları integratif nörofizyolojinin tanımlanmasında önemli ve değerli bir noktadır.

3.7.1. Beynin genel ritimleri:

Beyindeki işleme sürecinin salt duysal veya salt bilişsel olamayacağı, duysal bir sinyal işlenirken çeşitli bilişsel süreçlerin de devreye gireceği görüşü öne sürülmüştür (21). Posner ve Petersen'in (1990) bilişsel işleme topografik özelliklerini öne çıkarmaları ve Goldman-Rakic'in (1988) birincil asosiyasyon korteksindeki paralel dağılmış networklerin nöroanatomik çalışmaları beyinde paralel işleyen bir duysal-bilişsel sistemin varlığını desteklemektedir (22,23). Böyle bir sistemde fiziksel bir duyu algılanırken, birincil duysal süreçlerle birlikte çeşitli asosiyatif veya bilişsel işlevler farklı beyin bölgelerinde aynı anda aktive olabilir. Bu tip bir dağılmış paralel işleme farklı beyin lokalizasyonlarında ölçülen yanıtlardaki frekans farklılıklarından sorumlu olabilir. Eğer belirli işlemler için sürekli belirli nöral devreler kullanılıyorsa, bu devrelerin yarattığı ve buldukları beyin bölgelerine özgünlük kazandıran belirli frekansta salınımlar baskın hale gelebilir. Böyle bir durumda belli bir beyin yapısının genel ritminden bahsedilir (major operating rhythm=MOR).

Temel olarak literatürde teta ve alfa genel ritimlerinden bahsedilmektedir. Alfa ritminin seçici olarak oksipital kortekste aktif olduğu bilinmektedir. Görsel uyaran özellikle 300. milisaniyede belirgin bir "alfa yanıtı" ortaya çıkarmaktadır. Beynin santral bölgesinde her iki genel ritim aynı anda baskın olarak bulunmaktadır.

4. GEREÇ-YÖNTEM:

4.1. Çalışma Evreni:

Sağlıklı genç erişkin popülasyonundan alınan 60 gönüllü birey çalışmaya dahil edilmiştir. Kayıtlara herhangi bir nörolojik, psikiyatrik, kronik hastalık tanısı almamış ve sürekli kullandığı ilaç olmayan kişiler alınmıştır. Bireylerin alkol, ilaç alımı ve uyku durumu sorgulanmıştır. Bilişsel süreçleri etkileyen herhangi bir ilaç veya madde kullanımı olan bireyler denemelere alınmamıştır. Bireylerin görmeleri normal veya gözlük/lens ile normal hale getirilmiştir. İşitme engelleri bulunmamaktadır. Tümü sağ el dominant bireylerdir.

4.2. Gereçler:

Deneyler Dokuz Eylül Üniversitesi Beyin Dinamiği Multidisipliner Araştırma Merkezi ve Biyofizik Anabilim Dalı Araştırma laboratuvarlarında yapılmıştır. Kayıt süresince, ölçümü yapan kişi sistemlerin bulunduğu bir laboratuvar ve deneye alınan bireyler 'yalıtılmış oda' da bulunmaktadır. İki oda arasındaki haberleşme, iki oda arasında varolan ses sistemleri ile sağlanmıştır ve deney sürecinde bireyler kamera ile izlenmişlerdir.

Bireyler, ölçüm hakkında bilgilendirildikten ve aydınlatılmış onamları alındıktan sonra yalıtılmış odaya alınmışlardır. Bu oda elektromanyetik alan etkilerini en aza indirmek üzere Faraday Kafesi ile örülüdür ve ayrıca dış ortamdaki seslerden arındırmak amacı ile duvarlarda akustik malzeme kullanılarak ses yalıtımı sağlanmıştır.

Kayıt odasında EEG Elektrot bağlantı kutusu, hoparlör, dijital kamera ve monitör bulunmaktadır. Kayıtlar esnasında oda loş ışık ile aydınlatılmıştır. Bireylere kol destekli döşemeli bir koltukta rahat bir şekilde oturmaları, mümkün olduğunca hareket etmemeleri ve gözlerini kırpmamaları söylenmiştir ve ölçüm süresince de bu duruma dikkat edilmiştir. Elektrokülografi (EOG) kaydı ile göz hareketleri izlenmiştir ve belirli bir eşiğin üzerindeki kayıtların deney yürütücüsü tarafından ayıklanmıştır.

Görsel uyarılar, bilgisayar ortamında hazırlanarak ölçüm odasındaki monitöre gönderilen ışık sinyalinden oluşmuştur. Bu uyarıların parlaklık, görüntü alanı vb. sabittir. İşitsel uyarıcılar, bilgisayar ortamında hazırlanarak hoparlör aracılığıyla izole deney odasına gönderilmiştir. Dokunsal uyarıcı ise bu amaç için özel geliştirilmiş olan Pnömatik Stimulator Ünitesi (4-D Neuroimaging Somatosensory Stimulus Generator) ile sağlanmıştır. Parmağın uç kısmına yerleştirilen sıkımayacak şekilde ayarlanabilen bir mandalın parmağın pulpasına

oturan kısmında yaklaşık 9 mm çapında sentetik bir membran bulunmaktadır. Bu membrana bağlı olan bir kablo bir kuru hava tüpüne bağlı olan ve yalıtılmış odanın dışında duran jeneratöre uzanır. Jeneratör uyarıcı bilgisayar programıyla uyumlu çalışan ve istenilen zaman aralıklarıyla ayarlanan basınçta kuru hava tüpünden mandala giden kabloya hava ileten ve geri çeken bir cihazdır. Havanın kabloya iletilmesiyle membranda meydana gelen şişlik parmak ucunda bir hafif basınç hissi yaratmaktadır. Cihazın iki basınç saati ve dört çıkışı vardır. Biz ölçümlerimiz için 90 kPa basınç ve tek kanalı kullandık. Bu basınç değeri aygıtımız için genel popülasyonda eşik üstü dokunma hissi yaratabilecek düzeydi.

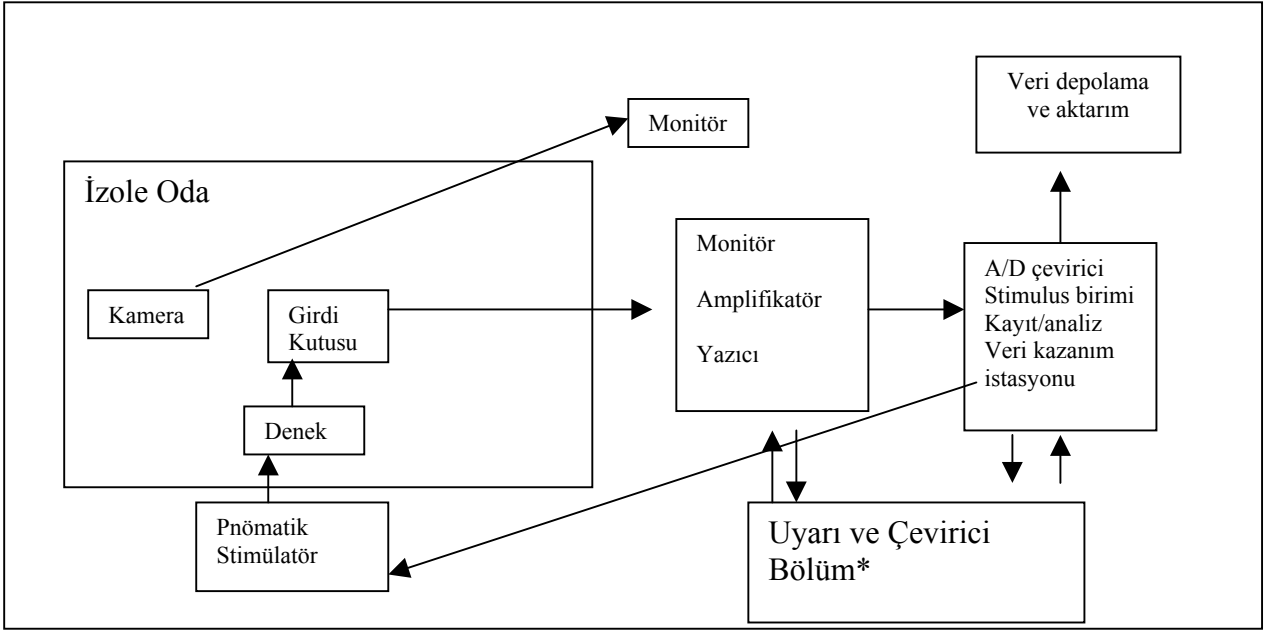
Kayıtlarda EOG (Elektrookülogram) kaydını yapabilmek ve topraklama yapabilmek üzere Ag/AgCl elektrotlar ve EEG Pastası kullanılmıştır. EOG faaliyeti, gözde dış kenara ve supraorbital alana yerleştirilen elektrotlar ile bipolar olarak kaydedilmiştir. Göz kırpma artefaktı taşıyan kayıtların elenmesi için gereklidir.

Deneye katılan her bireyin baş çepere ölçülerek uygun büyüklükteki kep (ECI: Electro-Cap Electrode System) kullanılmıştır. Kepte bulunan elektrotlar ile saçlı deri arasındaki iletkenliği sağlamak amacıyla elektro-jel, elektrotların bağlanacağı yeri temizlemek üzere alkollü pamuk ve abraziv krem kullanılmıştır.

Elektrot bağlantı şeması uluslararası 10/20 sistemine göre yapılmıştır (Jasper, 1958). Elektrot pozisyonu olarak F_z , F_3 , F_4 , C_z , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , O_1 , O_2 , EOG ve uyarı kanalı ana şema olarak uygulanmıştır ve iki kulak memesi (A1+A2) referans olarak alınmıştır. Kayıtlar dijital ve analog olarak gerçekleştirilmiştir. Analog kağıt kayıt hızı 15 mm/sn ve zaman sabitesi 0.3 olarak ayarlanmıştır. Elektrot empedansları 5 k Ω altında tutulmuştur.

4.2.1. Kullanılan donanım:

- 1) Nihon Kohden 10 kanal Analog EEG
- 2) Nihon Kohden 32 kanal Dijital EEG
- 3) Neuroscan 64 kanal EEG
- 4) STIM uyarı ünitesi
- 5) MATLAB uyarı modülü
- 6) BRAINDATA kayıt ve analiz modülü
- 7) Pnömatik Stimulator Ünitesi (4-D Neuroimaging Somatosensory Stimulus Generator)
(kuru hava tüplü; 90 kPa)



Şekil 1. Deney odası ve deneyde kullanılan cihazların şematik görünümü

*Uyarıcı ve çevirici donanım ve yazılım ve senkronizasyon Doç. Dr. Murat Özgören tarafından geliştirilmiştir ve ilk defa kullanılmıştır.

4.3. Yöntem :

Çoğu tıp fakültesi ve Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksekokulu öğrencilerinden oluşan gönüllü katılımcılar rasgele olarak 3 gruba ayrılmıştır. Birinci gruba görsel uyarın, ikinci gruba işitsel uyarın ve üçüncü gruba dokunsal uyarın verilmiştir. Her üç uyarının aynı bireye uygulanmamasının nedeni kayıtların uzun sürmesi ve sürenin uzamasıyla birlikte terleme, göz kırpması frekansındaki artış ve artan motor aktivite nedeniyle kayıt kalitesinin düşmesi olmuştur. Her üç uyarın tipi için uyarın adedi 60, süresi 1sn ve uyarınlar arası dinlenme süresi randomize (seçkisiz, rasgele) olarak 3-7sn arası değişmekteydi. Bireyler deney boyunca sestem ve elektromanyetik alandan yalıtılmış bir kabinde, loş ışıkta, rahat bir pozisyonda, bilgisayar ekranına 1.20 m mesafede oturulup, gözleri açıkken bilgisayar ekranında sabit bir noktaya bakmaları istendi.

4.4. Kayıt Düzenegi:

Üç aşamadan oluşturuldu:

- I. Spontan EEG kaydı:** 60 sweep (süpürüm) gözler açık, 60 sweep gözler kapalı durumda spontan EEG kayıtlanmıştır. Kayıt esnasında gözler açıkken bireyin ekranda belirli bir noktaya sürekli bakması istenmiştir. Toplam kayıt süresi yaklaşık 4 dakikadır.
- II. Sistemin denenmesi ve gönüllüye sinyalin tanıtılması:** verilecek uyarın türü (ışık, ses, lokal basınç) 10 örneklemele kişiye tanıtılmış ve düzenekteki aksaklıklar giderilmiştir (teması iyi olmayan elektrotun iletkenliğinin sağlanması, kişinin uyumunu bozan etkenlerin ortadan kaldırılması gibi)
- III. Uyarılmış potansiyel kaydı:** Deneye alınan bireye herhangi bir görev verilmeksizin ard arda aynı uyarıcı 60 kez verilmiştir. Görsel paradigma ise uyarıcıyı sadece izlemesi, işitsel paradigma ise uyarıcıyı sadece dinlemesi, taktıl uyarını sadece hissetmesi istenmiştir.

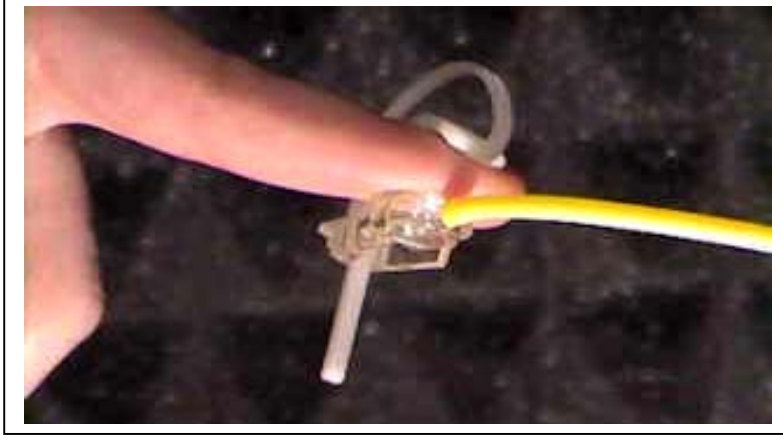
Somatosensoriyel Uyarılmış Potansiyellerin (SEP=somatosensorial evoked potentials) kayıtlanması:

Yaklaşık dört dakikalık spontan EEG kaydı alındıktan sonra gönüllülerin sağ işaret parmağının distaline pnömatik stimülatörün mandalı yerleştirildi (Şekil 2). Sistem test edilip kişiye uyarın tanıtıldıktan sonra, kollar destekli el ve el bileğinde herhangi bir motor aktivite olmayacak şekilde kişinin en rahat ettiği pozisyona getirildi. Hiç ağrı oluşturmayacak şekilde pnömatik stimülatör vasıtasıyla 90 kPa basıncında işaret parmağı pulpası ile temas halindeki 9 mm çapındaki sentetik membrana kuru hava iletilerek dokunsal uyarınlar verildi (Inter Stimulus Interval: 3.0-7.0 sn, stimulus sayısı: 60)

Görsel uyarın: bilgisayar ekranında 3-7sn'lik değişken aralıklarla beliren ekranı kaplayan luminans değeri 35cd/m^2 olan basit ışık sinyali.

İşitsel uyarın: 3-7 sn'lik değişken aralıklarla yalıtılmış odaya iletilen 80dB şiddetinde 1500Hz'lik ses sinyali.

Görsel uyarılmış potansiyeller (VEP=visual evoked potentials) ve işitsel uyarılmış potansiyeller (AEP=auditory evoked potentials) için kayıt düzenegi somatosensoriyel uyarılmış potansiyellerin (SEP=somatosensorial evoked potentials) kayıt düzenegi ve basamakları aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2: Somatosensoriyel uyarıcı mandalının işaret parmağına uygulanması

4.5. Analiz:

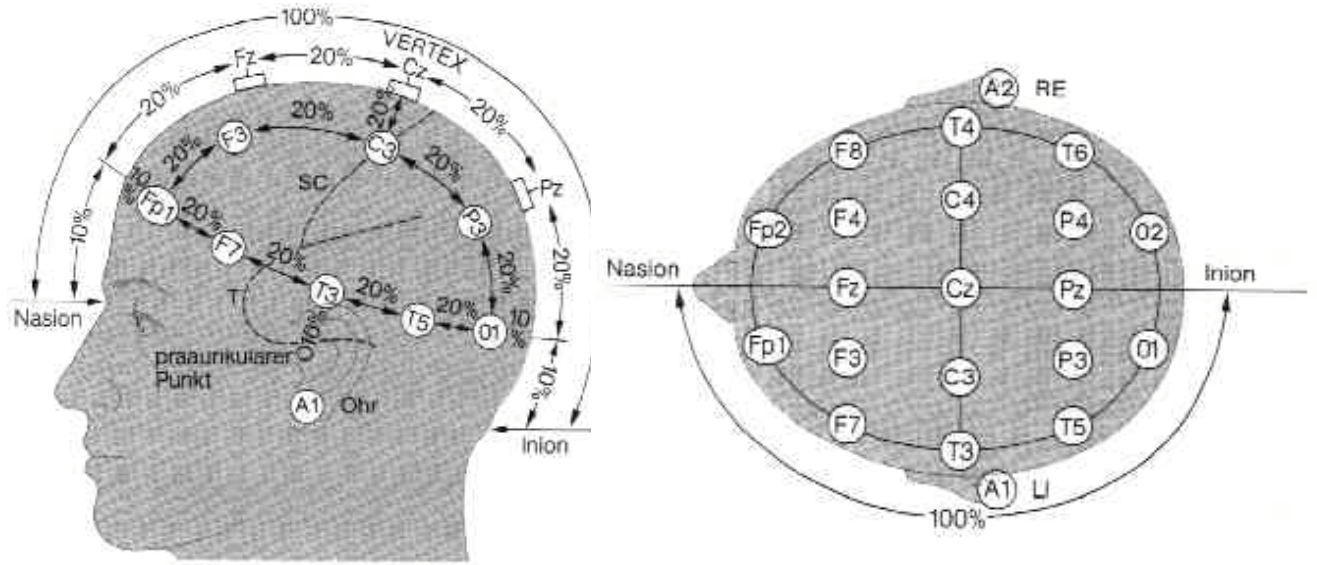
Analog kayıt sistemleri, elektriksel girdide aktivitenin olduğu gibi kaydedilmesini sağlar ve temelde herhangi bir çevirim yapmazlar. Böylece, kayıtlanan aktivitenin incelenmesi, depolanması ve gerektiğinde tekrar bulunarak işlenmesi zordur. Sayısal (digital) sinyal işleme sistemleri ise kayıtlanan aktivitenin uzun süre saklanmasına olanak sağlar ve kayıtların incelenme süresi analog sistemlere göre daha kolay ve kısadır.

Bu kayıtlar Brain Data ve MATLAB programları ile çevrilerek, sayısal bilgi olarak analiz aşamasına alınmışlardır.

Kayıtlarda, uyarı öncesi 1000 milisaniye (ms) ve uyarı sonrası 1000 ms kayıt bölgeleri elde edilmiştir. Süpürüm (sweep) denen bu kayıt bölgelerinin her biri 1024 noktadan oluşmaktadır ve uyarıcının verildiği nokta 512 dir.

Ardışık tek kayıtlar (single sweep) ve konvansiyonel (online) ortalamalar deneyler boyunca izlenmiştir. Öncelikle kayıtlardan göz kırpmaya, kas hareketine, terlemeye ve bazen bağlantılarda oluşabilen sorunlara ait artefaktlar, bilgisayar aracılığı ile online değil, analizi yapan kişi tarafından incelenerek 'offline' olarak uzaklaştırılmıştır. Bireye aynı uyarıcının verilmesi sonucu oluşan tepkilerin her elektrot alanında ortalaması (Average) alınmıştır. Sayısal değerlere çevrilen sinyallerden oluşan herbir süpürümün (sweep) analiz işlemi sırasında ortalamalarının alınması, bu sinyal içine karışan, rastgele ortaya çıkan ve kayıtlanan aktiviteyle ilgisi olmayan sinyallerin küçültülmesini ve kaydedilen sinyalin belirginleşmesini

sağlar. Beyinde oluşan yanıtların genel eğilimini göstermek için, deneye katılan tüm bireylerin beyninden kaydedilen ve ortalanan tepkilerin, ortalaması alınmıştır (Grand Average). Ortalama alma işlemleri de, bilgisayarlarda hazırlanmış uygun programlar ile gerçekleştirilmiştir. Ortalama alabilmek için uyarıcının verildiği an işaretlenmektedir. Uyarının öncesi ve sonrası, süpürümde yer alır. Araştırmamızda değerlendirmeler, bu ortalamaların ölçülmesi ile 14 elektrot (F_z, F₃, F₄, C_z, C₃, C₄, P₃, P₄, T₃, T₄, T₅, T₆, O₁, O₂) lokalizasyonundan gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3: Jasper 10-20 sistemine göre elektrotların yerleşiminin yandan ve üstten görünümü

4.5.1. Beynin Topolojisi:

Elektrotlar, üzerinde buldukları serebral lobların ilk harfleriyle isimlendirilmiştir. F_z, F₃, F₄ elektrotları frontal korteks üzerinde, C_z, C₃, C₄ elektrotları beyin santral bölgesi üzerinde (santral girus, vertex), P₃, P₄ pariyetal korteks üzerinde, T₃, T₄, T₅, T₆ elektrotları temporal korteks üzerinde ve O₁, O₂ elektrotları oksipital korteks üzerine bulunur ve dolayısıyla o alanın aktivitesini yansıtırlar. Tek sayılar sol, çift sayılar sağ beyin yarım küresini temsil etmektedir. Küçük “z” harfi ise santral bölgeleri ifade etmek için kullanılır.

Uyarılara karşı beyin verdiği yanıtların, farklı elektrot bölgelerine göre gösterilmesi için, uyarıcı sonrası incelenen zaman dilimindeki en büyük sinyal değeri yazılan bilgisayar programları aracılığı ile ölçülmüştür. Elektrot bölgeleri arasındaki farklar incelenerek, beyin tepki haritaları çıkarılmıştır.

4.5.2. Sayısal Filtreleme/Uyarılmış Osilasyonlar:

Filtre, hızlı değişen (yüksek frekanslı) sinyalleri yavaş değişen (alçak frekanslı) sinyallerden ayıran elemanlara denir. Filtreler alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren olmak üzere sınıflandırılırlar. Filtreler sayısal (dijital) veya analog olabilirler. Sayısal filtreler, bilgisayarlar yardımı ile ve teorik filtreler olarak işlev görürler (18).

Kullanılan filtrelerin limitleri içerisinde, osilasyon bileşenlerinin zaman içinde değişimleri “sayısal filtreleme” ile gösterilebilir. Elektronik filtrelerin aksine sayısal filtrelerde faz kaymalarına rastlanmaz. Bu çalışmadaki sayısal filtreleme delta (0.5-3.5 Hz), teta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (15-30 Hz) ve gamma (28-48 Hz) frekans bandlarında yapılmıştır. Söz gelimi uyarılmış potansiyelin 0.5-3.5 Hz frekans aralığındaki osilasyon komponentinin maksimum genliğine delta yanıtı denir. Alfa yanıtı ise bir uyarılmış potansiyelin 8-13 Hz frekansında verdiği en büyük yanıtıdır vb.; söz konusu frekans bandlarında incelenen yanıtlara uyarılmış osilasyonlar denmektedir.

4.6. İstatistiksel Analiz:

Sayısal veriler, uyarı sonrası bir saniye veya farklı zaman dilimlerinde ölçülen, en büyük genlik (en büyük sinyalin iki ucu arasındaki uzaklığın μV cinsinden değeri) belirlenerek ölçüm değerleri, SPSS 11.0 ortamında istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Her bir elektrod lokalizasyonu için ($F_z, F_3, F_4, C_z, C_3, C_4, P_3, P_4, T_3, T_4, T_5, T_6, O_1, O_2$) üç farklı fiziksel uyarının (hafif lokal basınç, ışık, ses) beş ayrı frekans bandındaki (delta, teta, alfa, beta, gamma) beyin korteksinde açığa çıkardığı osilasyonel yanıtları birbirleriyle kıyaslamak amacıyla ANOVA ve Bonferroni düzeltmeleri kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyinde $p < 0.05$ esas alınmıştır.

5. BULGULAR:

Toplam 32 kadın 28 erkekten oluşan ve yaşları 18-29 yaş arası değişen (yaş ortalaması $22,05 \pm 2,14$ yıl) toplam 60 genç erişkin sağlıklı gönüllünün kayıtları değerlendirmeye alınmıştır. Yedi gönüllüden alınan kayıtlar $>70\%$ artefakt nedeniyle yorumlanamayacağı için analiz dışı bırakılmıştır. EEG kaydı alınan kişiler rasgele 3 gruba ayrılmıştır: SEP, AEP ve VEP. Yirmi kişiden oluşan her bir gruba farklı bir uyaran verilmiştir. SEP grubuna somatosensoriyel (taktil) uyaran, AEP grubuna işitsel (ses) uyaran, VEP grubuna ise görsel uyaran (ışık) verilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Grupların yaş ve cinsiyet dağılımları Tablo 1'de gösterilmektedir. Olguların tümünde dominant el sağ taraf olup yaş ve cinsiyet dağılımları her üç grupta homojendir.

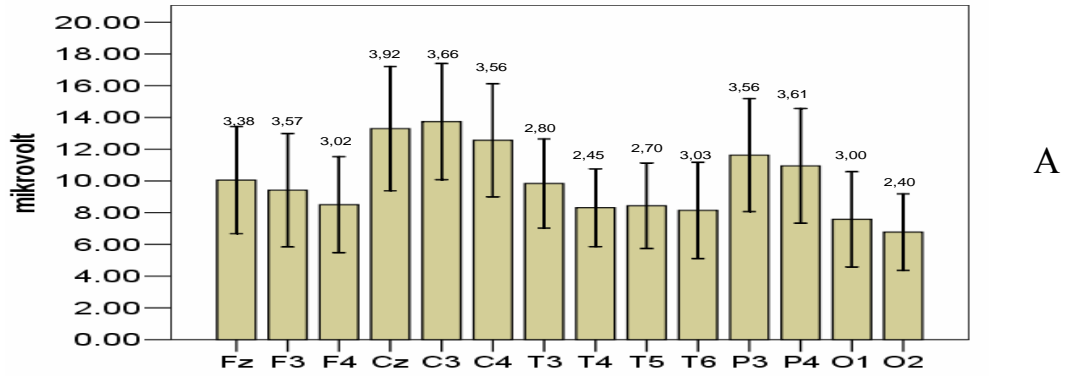
Tablo 1: Çalışmaya katılan gönüllülerin grup ve cinsiyet dağılımları ile yaş ortalamaları:

Grup	Cinsiyet (K/E)	Yaş (yıl)
SEP (n:20)	10 / 10	21.85 ± 2.16
AEP (n:20)	13 / 7	22.35 ± 2.35
VEP (n:20)	9 / 11	21.95 ± 1.99

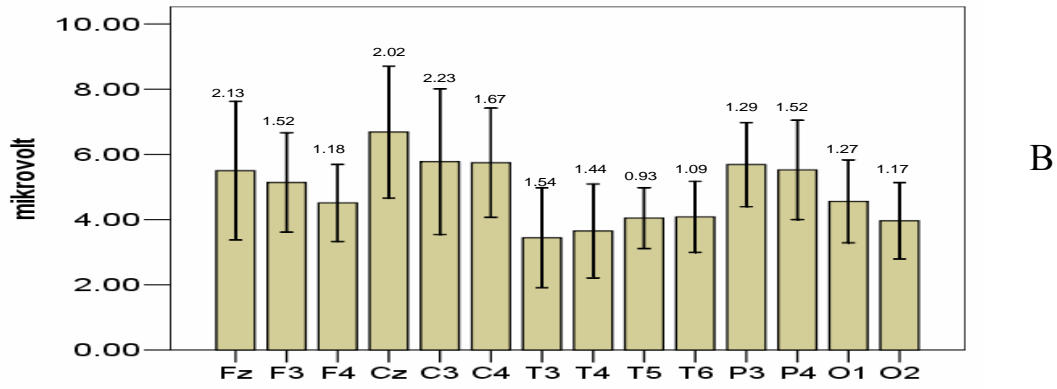
Somatosensoriyel uyaran verilen 20 kişinin, uyaran sonrası 0-1000ms yanıtları delta (0.5-3.5Hz), teta (4-7Hz), alfa (8-13Hz), beta (15-30 Hz) ve gamma (28-48 Hz) frekanslarında filtrelendiğinde her bir elektrod lokalizasyonu için elde edilen maksimum genlikler ve standart sapmaları mikrovolt cinsinden şekil 4'te görülmektedir.

Şekil 4A, 4B ve 4C'de görüldüğü gibi, düşük frekansdaki yanıtlar topolojik olarak benzer bir patern sergilemektedir: maksimum yanıtlar birincil ve ikincil somatoduyusal alan olan santral ve pariyetal alanlardan elde edilmiştir. Minimum yanıtlar ise temporal ve oksipital korteksten elde edilmiştir ancak frekansın artmasıyla oksipital yanıtların büyüdüğü dikkat çekmektedir. Alfa frekansında frontal ve oksipital bölgede yanıtlar büyümüş, temporal bölgede ise yanıtlar delta ve teta frekanslarındaki gibi en düşük seviyede kalmıştır.

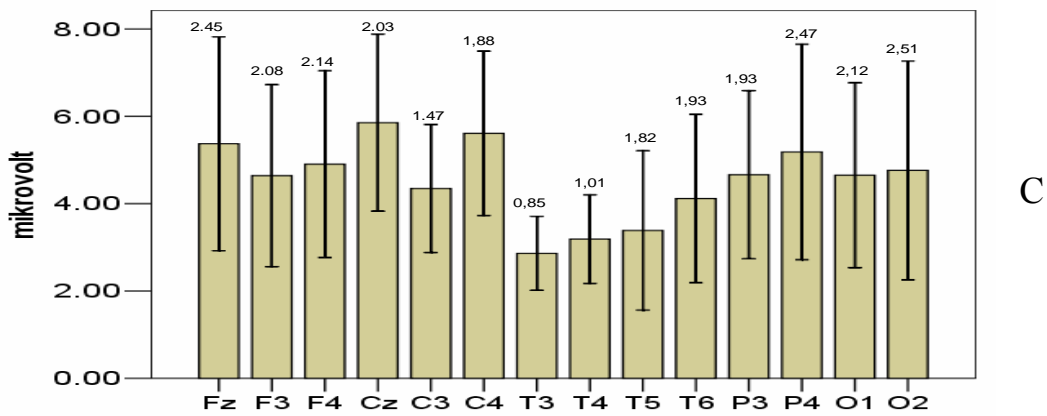
Şekil 4:



A: Delta frekans bandında (0,5-3.5 Hz) filtrelenmiş somatosensoriyel uyarılmış potansiyellerin ortalama ve standart sapmaları

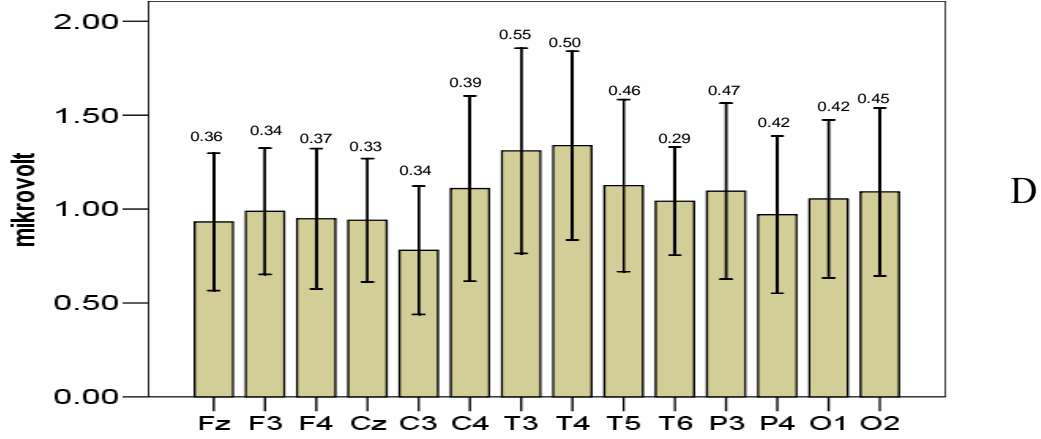


B: Teta frekans bandında (4-7 Hz) filtrelenmiş somatosensoriyel uyarılmış potansiyellerin ortalama ve standart sapmaları

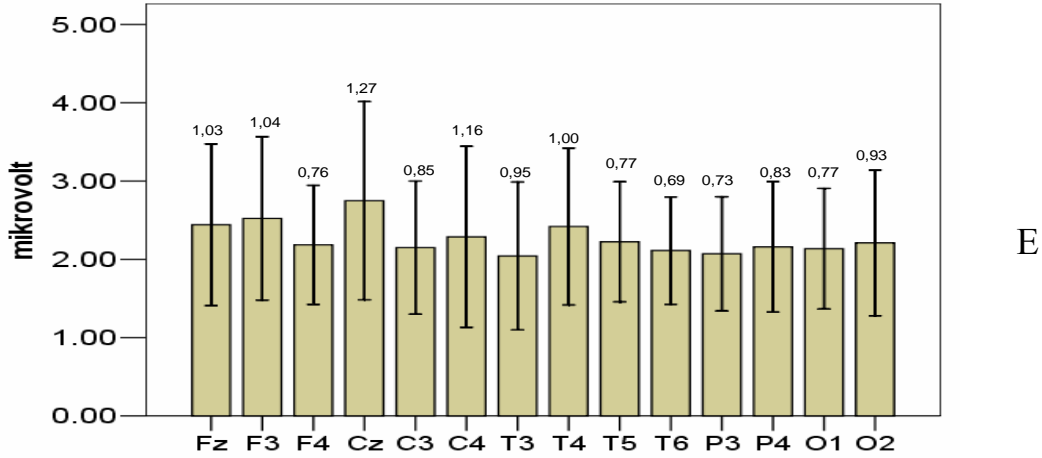


C: Alfa frekans bandında (8-13 Hz) filtrelenmiş somatosensoriyel uyarılmış potansiyellerin ortalama ve standart sapmaları

Beta frekansında ise, yani görece hızlı frekanslarda, yavaş frekanslarda görülen topolojik yanıt dağılımı adeta tersine dönmektedir. En yüksek yanıtlar temporal bölgeden, en düşük yanıt ise santral bölgeden (verteksten) elde edilmiştir. Gamma frekans bandında ise yanıtların elektrot lokalizasyonları arasında çok farklılık göstermediği görülmektedir.



D: Beta frekans bandında (15-28 Hz) filtrelenmiş somatosensoryel uyarılmış potansiyellerin ortalama ve standart sapmaları



E: Gamma frekans bandında (28-48Hz) filtrelenmiş somatosensoryel uyarılmış potansiyellerin ortalama ve standart sapmaları

Şekil 4: Beş ayrı frekans bandında filtrelenmiş somatosensoryel uyarılmış potansiyellerin ortalamaları barlar, standart deviyasyonları ise üzerlerindeki çubuklar ile ifade edilmiştir. Ortalamalar x-eksenindeki skala ile mikrovolt cinsinden ifade edilirken standart deviyasyonların sayısal değerleri çubukların üzerinde rakam olarak gösterilmiştir. Y-ekseninde kayıt alınmış olan 14 elektrot sıralanmıştır.

Her üç grubun 5 ayrı frekans bandı için tüm elektrot lokalizasyonlarındaki ($F_z, F_3, F_4, C_z, C_3, C_4, P_3, P_4, T_3, T_4, T_5, T_6, O_1, O_2$) uyarın sonrası 0-1000 ms arası zaman dilimindeki maksimum amplitüd tepe değerleri ve standart deviasyon değerleri Tablo 2’de görülmektedir. Bu tablonun görsel açılımı olan Şekil 5A-E ‘de uyarın arası topolojik yanıt farklılıkları izlenebilmektedir.

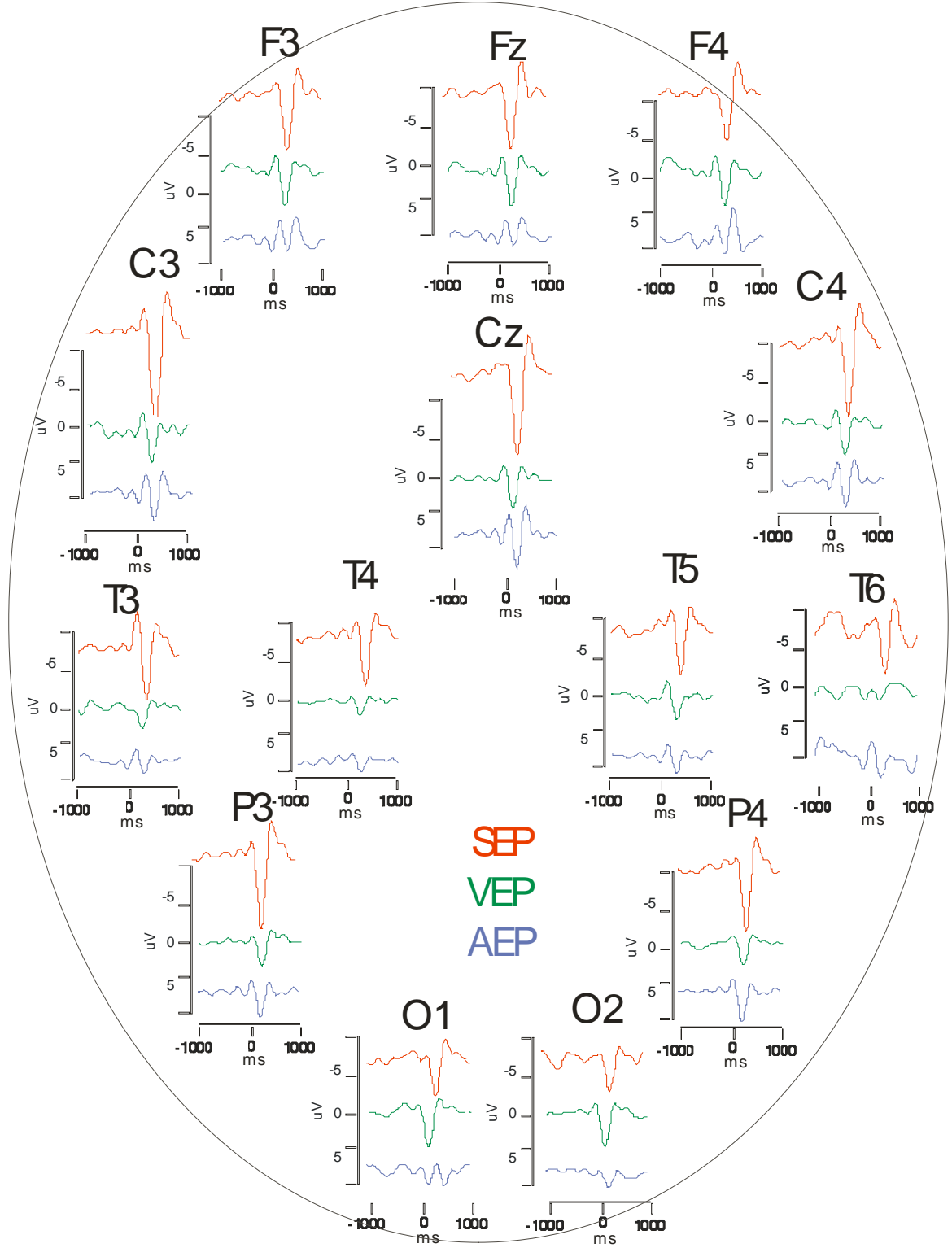
Tablo 2: SEP, VEP ve AEP gruplarında delta (0.5-3.5Hz), teta (4-7Hz), alfa (8-13Hz), beta (15-30 Hz) ve gamma (28-48 Hz) frekansları için maksimum amplitüd tepe değerleri ve standart deviasyon değerleri:

ELEKTROT/ FREKANS	SEP		VEP		AEP	
	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD
DELTA						
Fz	10,05	3,38	6,88	2,22	6,57	2,47
F3	9,42	3,57	6,63	2,19	5,92	2,64
F4	8,51	3,02	6,37	2,14	6,63	2,83
Cz	13,30	3,92	6,59	2,37	8,09	2,55
C3	13,74	3,66	5,94	2,05	6,21	2,31
C4	12,56	3,56	6,07	2,08	6,68	2,80
T3	9,84	2,80	4,11	1,65	3,69	1,60
T4	8,31	2,45	4,32	2,03	4,76	2,29
T5	8,44	2,70	3,85	1,85	3,48	1,39
T6	8,15	3,03	4,44	1,75	4,25	1,89
P3	11,63	3,56	5,56	1,62	5,17	2,08
P4	10,95	3,61	5,28	1,39	5,41	1,96
O1	7,58	2,99	5,83	3,98	2,98	,93
O2	6,78	2,40	5,59	3,18	3,43	1,24
TETA						
F3	5,14	1,52	5,42	2,19	6,39	1,91
F4	4,51	1,18	5,85	2,74	6,36	2,05
Cz	6,69	2,02	5,84	2,33	9,16	3,30
C3	5,78	2,23	5,07	2,13	7,18	2,15
C4	5,74	1,67	5,23	2,51	7,04	2,30
T3	3,44	1,54	2,60	,92	3,67	1,46
T4	3,65	1,44	3,08	1,61	4,14	1,58
T5	4,05	0,93	3,00	1,12	2,84	1,19
T6	4,08	1,09	3,37	1,57	2,96	1,34
P3	5,69	1,29	4,10	1,93	4,45	1,61
P4	5,52	1,52	3,82	2,04	4,51	1,65
O1	4,56	1,27	3,41	2,26	2,36	,97
O2	3,96	1,17	3,31	1,69	2,48	,86
ALFA						
Fz	5,37	2,45	3,84	1,25	5,21	2,40
F3	4,64	2,08	3,39	1,24	4,93	2,03
F4	4,90	2,14	3,56	1,15	4,68	2,30
Cz	5,85	2,03	4,25	1,60	6,17	2,60
C3	4,35	1,46	4,45	1,70	5,40	2,24
C4	5,61	1,88	4,32	2,00	5,28	2,05
T3	2,86	0,85	2,58	1,17	2,89	1,25
T4	3,19	1,01	3,10	1,34	3,03	1,25
T5	3,39	1,82	3,76	1,55	3,59	1,96
T6	4,17	1,93	4,32	1,53	3,07	1,39
P3	4,66	1,93	4,78	1,92	4,55	2,06
P4	5,18	2,47	4,68	1,93	4,15	2,12
O1	4,65	2,12	5,35	2,52	3,60	2,11
O2	4,76	2,51	5,41	2,47	3,07	1,69

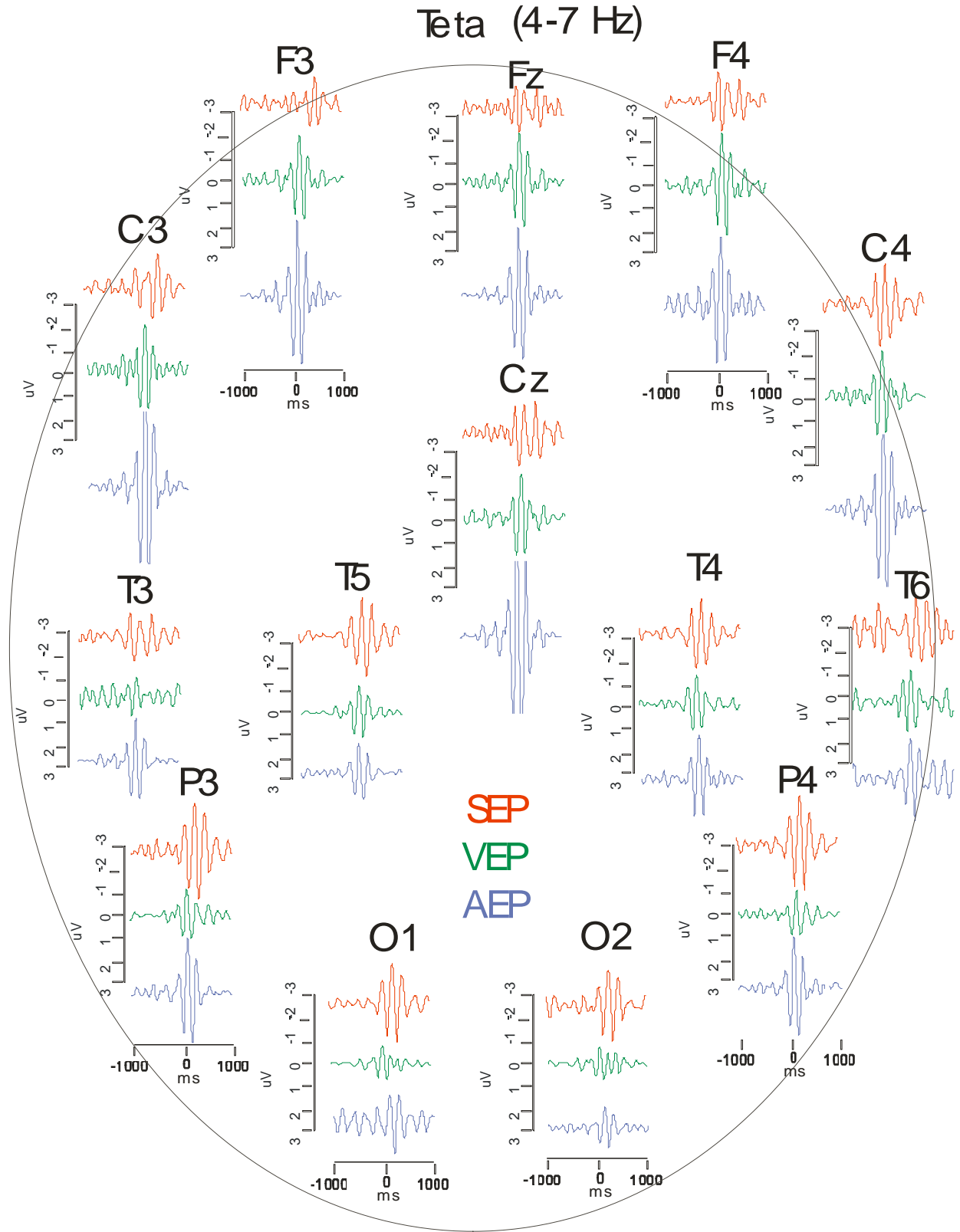
ELEKTROT/ FREKANS	SEP		VEP		AEP	
	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD
BETA						
Fz	2,44	1,03	2,75	1,06	3,21	1,08
F3	2,52	1,04	2,61	1,04	3,06	1,15
F4	2,18	0,76	2,76	1,31	2,90	,95
Cz	2,75	1,27	2,31	,72	2,96	1,21
C3	2,15	0,85	2,23	,81	2,34	,84
C4	2,29	1,16	2,40	,86	2,63	,90
T3	2,04	,94	1,87	,78	2,24	,86
T4	2,42	1,00	2,01	,89	2,36	1,20
T5	2,22	,77	2,06	,82	2,04	,87
T6	2,11	,69	2,25	,80	1,83	,45
P3	2,07	,73	2,36	1,01	2,31	,88
P4	2,16	,83	2,43	,92	2,25	,77
O1	2,14	,77	2,73	1,09	2,17	1,21
O2	2,21	,93	2,73	,77	2,10	,82
GAMMA						
Fz	0,93	0,36	,79	,25	1,32	,40
F3	0,99	0,34	,86	,44	1,30	,38
F4	0,95	0,37	,91	,25	1,26	,37
Cz	0,94	0,33	,85	,20	1,19	,45
C3	0,78	0,34	,69	,28	,88	,34
C4	1,11	0,49	,89	,32	1,00	,32
T3	1,31	0,55	,98	,53	1,25	,59
T4	1,34	0,50	1,00	,43	1,22	,50
T5	1,12	0,46	,95	,35	,95	,40
T6	1,04	0,29	,92	,37	,86	,28
P3	1,09	0,47	,84	,31	,91	,43
P4	0,97	0,42	,91	,41	,85	,36
O1	1,05	0,42	1,12	,52	,97	,44
O2	1,09	0,45	1,08	,48	1,07	,45

Şekil 5 A-E 'de izlenen, farklı uyaran türlerinin (somatosensoryel, işitsel, görsel) yarattığı beyin osilasyonel yanıtları her elektrot bölgesi için birbiriyle istatistiksel olarak kıyaslandığında Tablo 3-7 de gösterilen bulgular elde edilmektedir. p değeri 0.05 altında olanlar koyu gösterilmiştir.

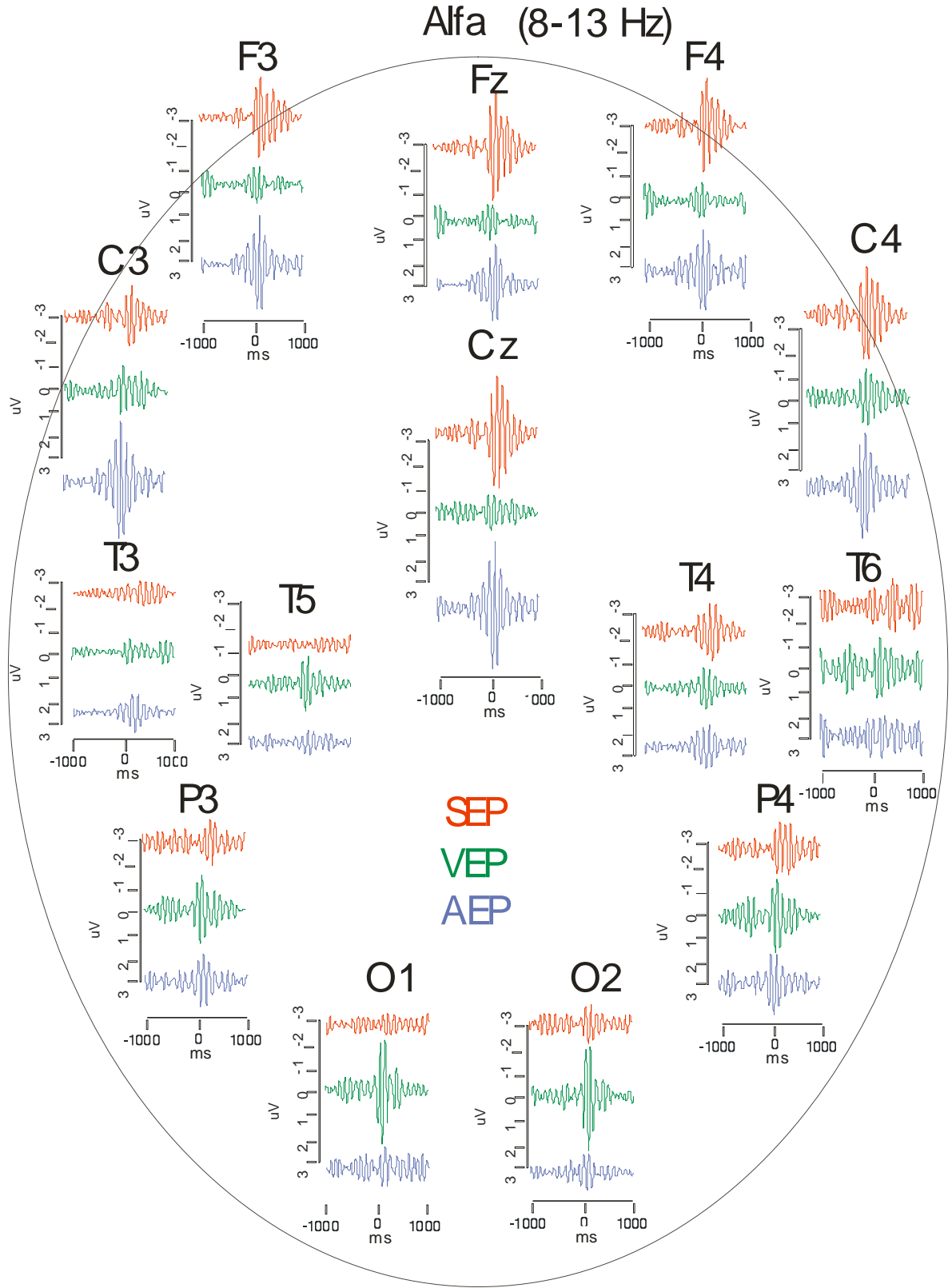
Delta (0.5-3.5 Hz)



Şekil 5.A. SEP, VEP ve AEP yanıtlarının ortalamaları alınmış osilasyonlarının delta bandındaki topolojik dağılımı

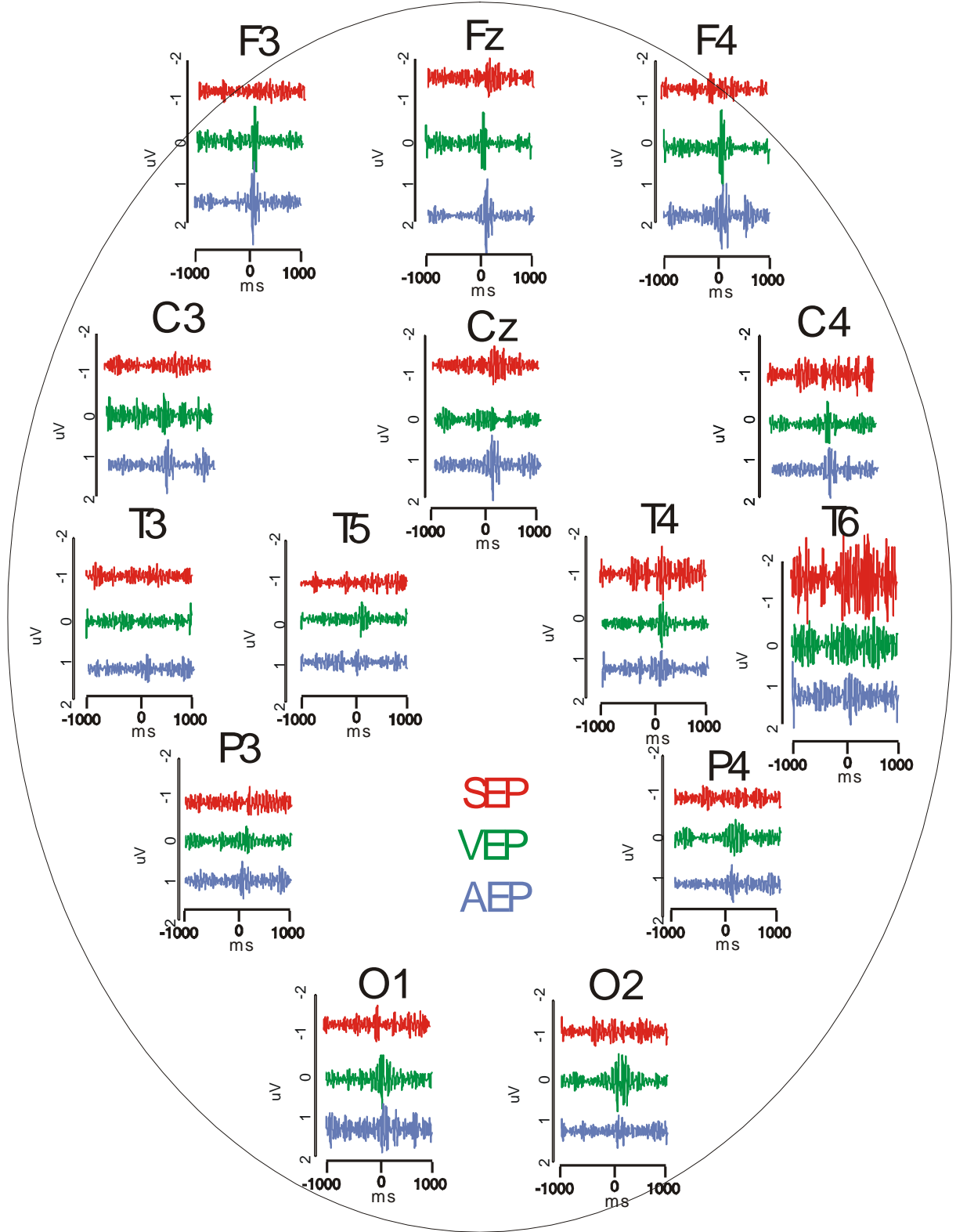


Şekil 5.B. SEP, VEP ve AEP yanıtlarının ortalamaları alınmış osilasyonlarının teta bandındaki topolojik dağılımı



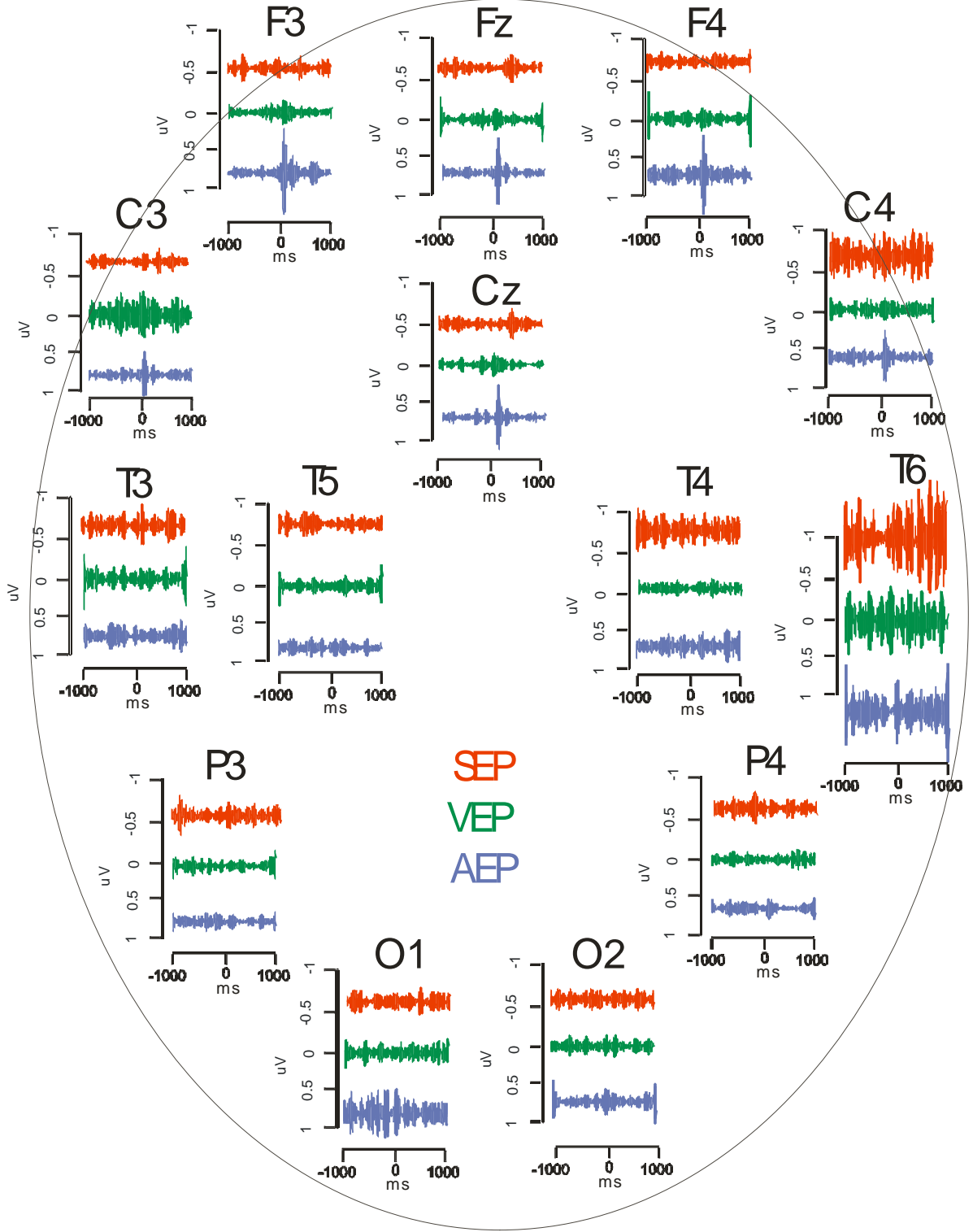
Şekil 5.C. SEP, VEP ve AEP yanıtlarının ortalamaları alınmış osilasyonlarının alfa bandındaki topolojik dağılımı

Beta (15-30 Hz)



Şekil 5.D. SEP, VEP ve AEP yanıtlarının ortalamaları alınmış osilasyonlarının beta bandındaki topolojik dağılımı

Gamma (28-48 Hz)



Şekil 5.E. SEP, VEP ve AEP yanıtlarının ortalamaları alınmış osilasyonlarının gamma bandındaki topolojik dağılımı

Tablo 3: Delta frekansı için görsel uyarılmış potansiyel (VEP), işitsel uyarılmış potansiyel (AEP) ve somatosensoriyel uyarılmış potansiyel (SEP) gruplarının karşılaştırılması

Frekans	ELEKTROD	(I) GRUP	(J) GRUP	Ort.fark	Std.hata	p
Delta 0,5-3,5Hz	Fz	SEP	VEP	3,1725	,86634	,002*
		SEP	AEP	3,4866	,87767	,001*
		AEP	VEP	-,3141	,87767	1,000
F3		SEP	VEP	2,7890	,90504	,010*
		SEP	AEP	3,4975	,90504	,001*
		AEP	VEP	-,7085	,90504	1,000
F4		SEP	VEP	2,1330	,85097	,045*
		SEP	AEP	1,8705	,85097	,096
		AEP	VEP	,2625	,85097	1,000
Cz		SEP	VEP	6,7075	,95681	,000*
		SEP	AEP	5,2050	,95681	,000*
		AEP	VEP	1,5025	,95681	,366
C3		SEP	VEP	7,8025	,87393	,000*
		SEP	AEP	7,5300	,87393	,000*
		AEP	VEP	,2725	,87393	1,000
C4		SEP	VEP	6,4897	,92636	,000*
		SEP	AEP	5,8800	,91440	,000*
		AEP	VEP	,6097	,92636	1,000
T3		SEP	VEP	5,7268	,67771	,000*
		SEP	AEP	6,1511	,68729	,000*
		AEP	VEP	-,4243	,69581	1,000
T4		SEP	VEP	3,9975	,71602	,000*
		SEP	AEP	3,5518	,72538	,000*
		AEP	VEP	,4457	,72538	1,000
T5		SEP	VEP	4,5921	,66246	,000*
		SEP	AEP	4,9518	,65412	,000*
		AEP	VEP	-,3597	,65412	1,000
T6		SEP	VEP	3,7057	,76603	,000*
		SEP	AEP	3,8974	,79023	,000*
		AEP	VEP	-,1917	,80021	1,000
P3		SEP	VEP	6,0664	,81292	,000*
		SEP	AEP	6,4539	,81292	,000*
		AEP	VEP	-,3875	,80243	1,000
P4		SEP	VEP	5,6737	,80711	,000*
		SEP	AEP	5,5350	,79669	,000*
		AEP	VEP	,1387	,80711	1,000
O1		SEP	VEP	1,7567	,95360	,213
		SEP	AEP	4,6009	,97907	,000*
		AEP	VEP	-2,8442	,96709	,014*
O2		SEP	VEP	1,1925	,77167	,384
		SEP	AEP	3,3522	,79281	,000*
		AEP	VEP	-2,1597	,79281	,026*

5.1 Delta Bandında SEP Yanıtları:

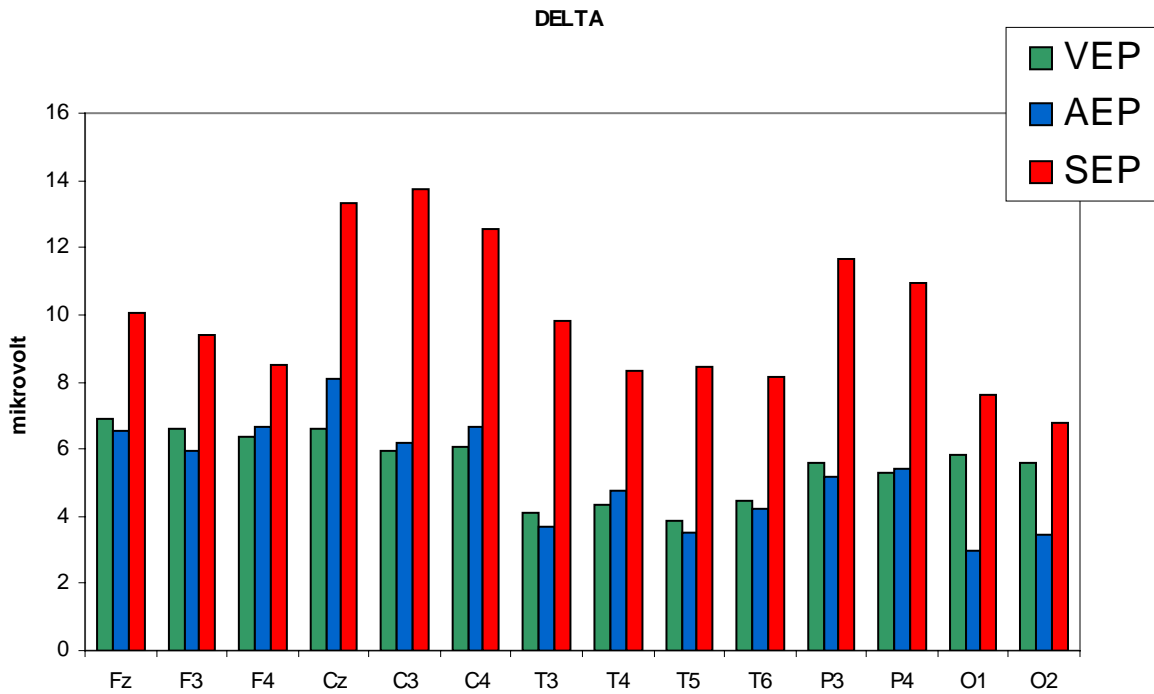
Tüm lokalizasyonlarda SEP yanıtları AEP ve VEP yanıtlarından yüksek bulunmuştur. Bu fark Cz, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3 ve P4 elektrotlarında ileri derecede anlamlı ($p<0.001$) bulunmuştur. SEP delta maksimum amplitüt değerleri %33 ile %153 arasında değişen oranlarda AEP ve VEP yanıtlarından yüksek bulunmuştur.

Oksipital bölgede SEP yanıtı VEP yanıtına yaklaşmıştır ve her ikisi de AEP yanıtından belirgin yüksektir ($p<0.05$).

F4 için ise AEP-SEP farkı anlamlı değil, VEP-SEP farkı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$).

5.2 Delta Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:

O₁ ve O₂ elektrotlarında AEP yanıtları VEP yanıtlarından belirgin küçük bulunmuştur ($p<0.05$). diğer lokalizasyonlarda AEP-VEP yanıtları birbirine paralellik göstermektedir. Frontal ve santral bölgelerde 7 μ V civarında seyreden gerilim temporal bölgede 4-5 μ V seviyesine düşmekte, pariyetal bölgede 1-2 μ V'luk bir yükseliş göstermekte, bu yükseliş VEP'te sürmekte AEP'te ise yaklaşık % 40'lık bir düşüş görülmektedir.



Şekil 6.A. Delta bandında VEP, AEP ve SEP maksimum genliklerinin elektrot lokalizasyonlarına göre dağılımı

Tablo 4: Teta frekansı için görsel uyarılmış potansiyel (VEP), işitsel uyarılmış potansiyel (AEP) ve somatosensoriyel uyarılmış potansiyel (SEP) gruplarının karşılaştırılması

Frekans	ELEKTROD	(I) GRUP	(J) GRUP	Ort.fark	Std.hata	p
Teta 4-7Hz	Fz	SEP	VEP	-,6300	,80497	1,000
		SEP	AEP	-1,8921	,81549	,072
		AEP	VEP	1,2621	,81549	,382
F3	SEP	VEP	-,2850	,59848	1,000	
	SEP	AEP	-1,2475	,59848	,125	
	AEP	VEP	,9625	,59848	,340	
F4	SEP	VEP	-1,3350	,66101	,144	
	SEP	AEP	-1,8475	,66101	,021*	
	AEP	VEP	,5125	,66101	1,000	
Cz	SEP	VEP	,8450	,82426	,929	
	SEP	AEP	-2,4775	,82426	,012*	
	AEP	VEP	3,3225	,82426	,001*	
C3	SEP	VEP	,7100	,68614	,915	
	SEP	AEP	-1,4000	,68614	,138	
	AEP	VEP	2,1100	,68614	,010*	
C4	SEP	VEP	,5100	,69223	1,000	
	SEP	AEP	-1,2975	,69223	,198	
	AEP	VEP	1,8075	,69223	,035*	
T3	SEP	VEP	,8388	,42885	,167	
	SEP	AEP	-,2312	,42885	1,000	
	AEP	VEP	1,0700	,43432	,051	
T4	SEP	VEP	,5698	,48862	,745	
	SEP	AEP	-,4896	,49501	,981	
	AEP	VEP	1,0595	,49501	,110	
T5	SEP	VEP	1,0499	,34864	,012*	
	SEP	AEP	1,2049	,34864	,003*	
	AEP	VEP	-,1550	,34414	1,000	
T6	SEP	VEP	,7092	,44216	,345	
	SEP	AEP	1,1195	,44878	,048*	
	AEP	VEP	-,4103	,45463	1,000	
P3	SEP	VEP	1,5870	,52454	,011*	
	SEP	AEP	1,2395	,52454	,065	
	AEP	VEP	,3475	,51777	1,000	
P4	SEP	VEP	1,7075	,55342	,009*	
	SEP	AEP	1,0125	,55342	,218	
	AEP	VEP	,6950	,55342	,643	
O1	SEP	VEP	1,1525	,51177	,085	
	SEP	AEP	2,1989	,52580	,000*	
	AEP	VEP	-1,0464	,52580	,155	
O2	SEP	VEP	,6550	,40953	,346	
	SEP	AEP	1,4887	,41488	,002*	
	AEP	VEP	-,8337	,41488	,148	

5.3 Teta Bandında SEP Yanıtları:

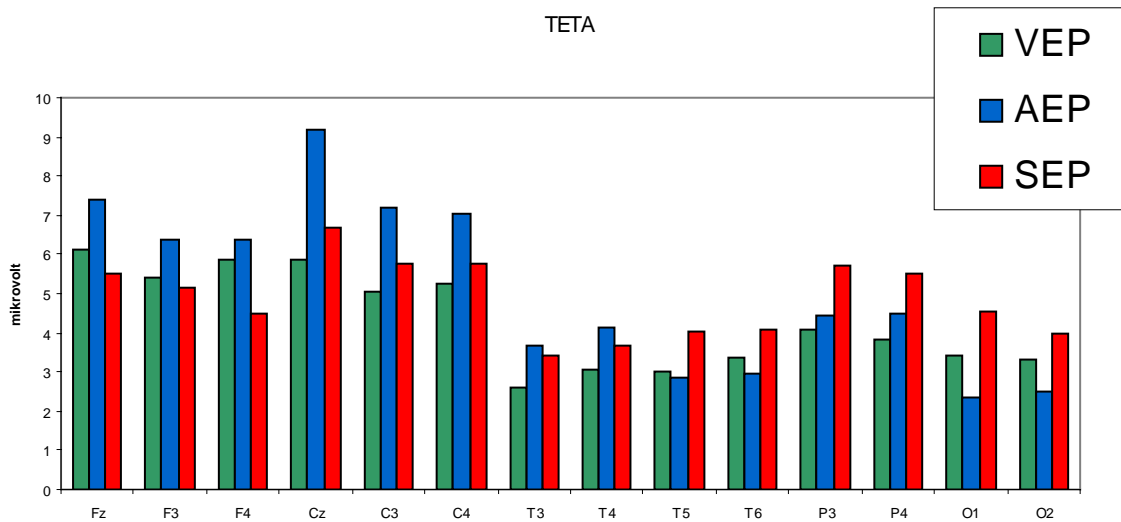
SEP yanıtları T₅, T₆, P₃, P₄, O₁ ve O₂ lokalizasyonlarında yani arka temporal, pariyetal ve oksipital loblarda %35 ile %93 arası değişen oranlarda AEP ve VEP yanıtlarından yüksek bulunmuştur (p<0.05).

Santral bölgelerde (Cz,C₃,C₄) SEP yanıtı VEP yanıtından biraz yüksek, AEP'ten belirgin düşüktür fakat istatistiksel olarak yalnızca Cz elektrotunda SEP yanıtı AEP'ten anlamlı derecede düşük bulunmuştur (p<0.05).

Frontal bölgede AEP ve VEP'e kıyasla SEP en düşük yanıtları göstermiştir fakat fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0.05).

5.4 Teta Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:

Frontal ve santral bölgelerde en yüksek yanıtlar AEP yanıtlarıdır. Cz, C₃ ve C₄ elektrotlarında AEP VEP'e kıyasla sırasıyla p<0,001, p<0.01 ve p<0.05 düzeylerinde anlamlı derecede büyüktür. Arka temporal bölgelerde AEP VEP yanıtları birbirine yaklaşır ve minimum seviyededir, pariyetal bölgede yükseliş gösterirler ve oksipital bölgede VEP hafif AEP ise daha belirgin düşüş gösterir fakat aradaki gerilim farkı istatistiksel olarak anlamlı değildir. Genel bakıldığında beynin ön tarafında yanıtlar yüksek arka tarafında düşüktür. SEP'te ise teta yanıtı daha çok beynin arka tarafında, pariyetal ve oksipital bölgede belirgindir.



Şekil 6.B. Teta bandında VEP, AEP ve SEP maksimum genliklerinin elektrot lokalizasyonlarına göre dağılımı

Tablo 5: Alfa frekansı için görsel uyarılmış potansiyel (VEP), işitsel uyarılmış potansiyel (AEP) ve somatosensoriyel uyarılmış potansiyel (SEP) gruplarının karşılaştırılması

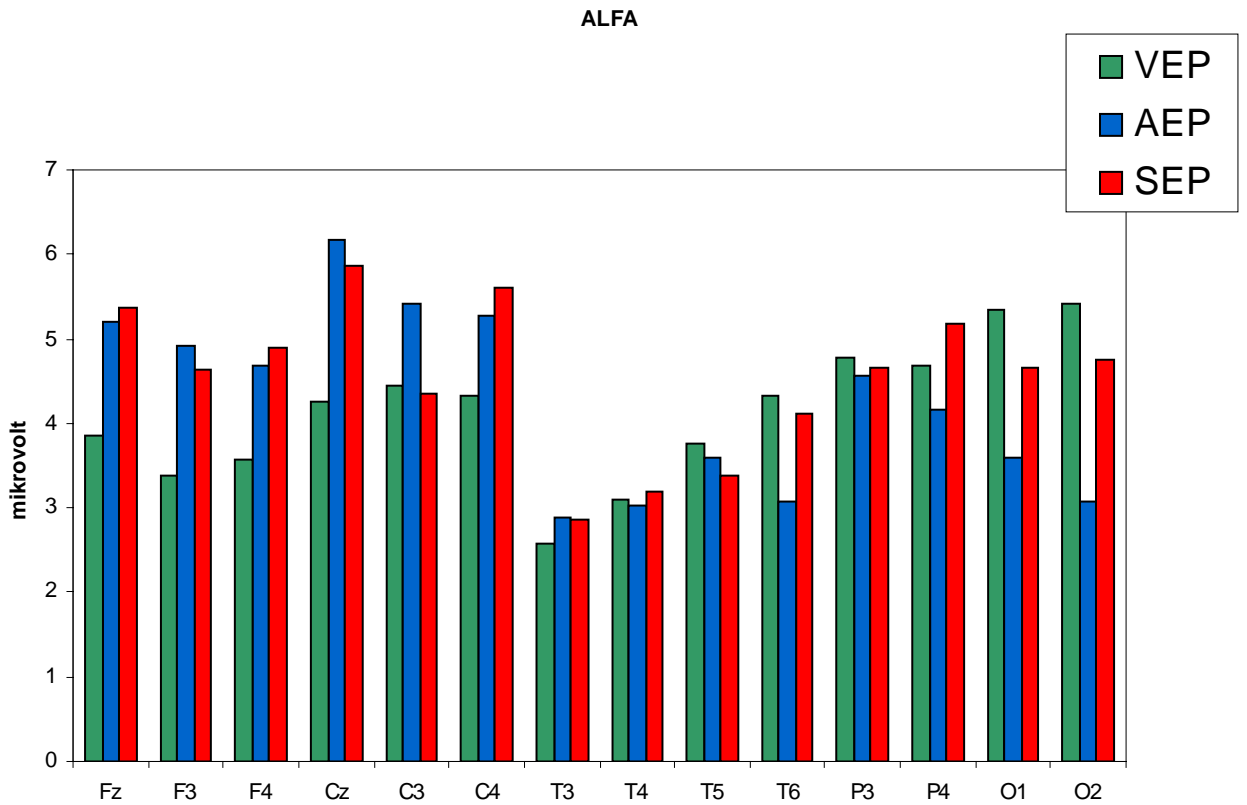
Frekans	ELEKTROD	(I) GRUP	(J) GRUP	Ort.fark	Std.hata	p
Alfa 8-13Hz	Fz	SEP	VEP	1,5275	,66521	,076
		SEP	AEP	,1620	,67391	1,000
		AEP	VEP	1,3655	,67391	,143
F3		SEP	VEP	1,2500	,57781	,104
		SEP	AEP	-,2875	,57781	1,000
		AEP	VEP	1,5375	,57781	,030*
F4		SEP	VEP	1,3450	,60993	,094
		SEP	AEP	,2225	,60993	1,000
		AEP	VEP	1,1225	,60993	,213
Cz		SEP	VEP	1,6080	,66973	,059
		SEP	AEP	-,3200	,66973	1,000
		AEP	VEP	1,9280	,66973	,017*
C3		SEP	VEP	-,1030	,57981	1,000
		SEP	AEP	-1,0575	,57981	,220
		AEP	VEP	,9545	,57981	,316
C4		SEP	VEP	1,2936	,64411	,149
		SEP	AEP	,3311	,64411	1,000
		AEP	VEP	,9625	,62694	,391
T3		SEP	VEP	,2783	,35201	1,000
		SEP	AEP	-,0322	,35201	1,000
		AEP	VEP	,3105	,35650	1,000
T4		SEP	VEP	,0875	,38259	1,000
		SEP	AEP	,1625	,38259	1,000
		AEP	VEP	-,0750	,38259	1,000
T5		SEP	VEP	-,3782	,57211	1,000
		SEP	AEP	-,2032	,57211	1,000
		AEP	VEP	-,1750	,56473	1,000
T6		SEP	VEP	-,2082	,53943	1,000
		SEP	AEP	1,0474	,53943	,173
		AEP	VEP	-1,2556	,54667	,077
P3		SEP	VEP	-,1193	,63128	1,000
		SEP	AEP	,1105	,63932	1,000
		AEP	VEP	-,2299	,63128	1,000
P4		SEP	VEP	,5060	,69067	1,000
		SEP	AEP	1,0285	,69067	,426
		AEP	VEP	-,5225	,69067	1,000
O1		SEP	VEP	-,7000	,71545	,996
		SEP	AEP	1,0525	,73505	,474
		AEP	VEP	-1,7525	,73505	,062
O2		SEP	VEP	-,6500	,71633	1,000
		SEP	AEP	1,6914	,72569	,070
		AEP	VEP	-2,3414	,72569	,006*

5.5 Alfa Bandında SEP Yanıtları:

Santral bölgede maksimum, temporal bölgelerde minimum, pariyetal bölgede tekrar yükseliş ve oksipital bölgede hafif bir düşüş seyriyle delta ve teta bandlarındaki SEP yanıtlarıyla benzerlik göstermektedir ancak istatistiksel analizde SEP lehine anlamlı bir fark bulunamamıştır.

5.6 Alfa Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:

Alfa bandında beyin ön kısmında işitsel yanıtlar yüksek, arka bölümünde ise görsel yanıtlar yüksek bulunmuştur. F₃ ve Cz elektrotlarında bu fark istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$); sağ oksipital bölgede ileri derecede anlamlıdır ($p<0.01$).



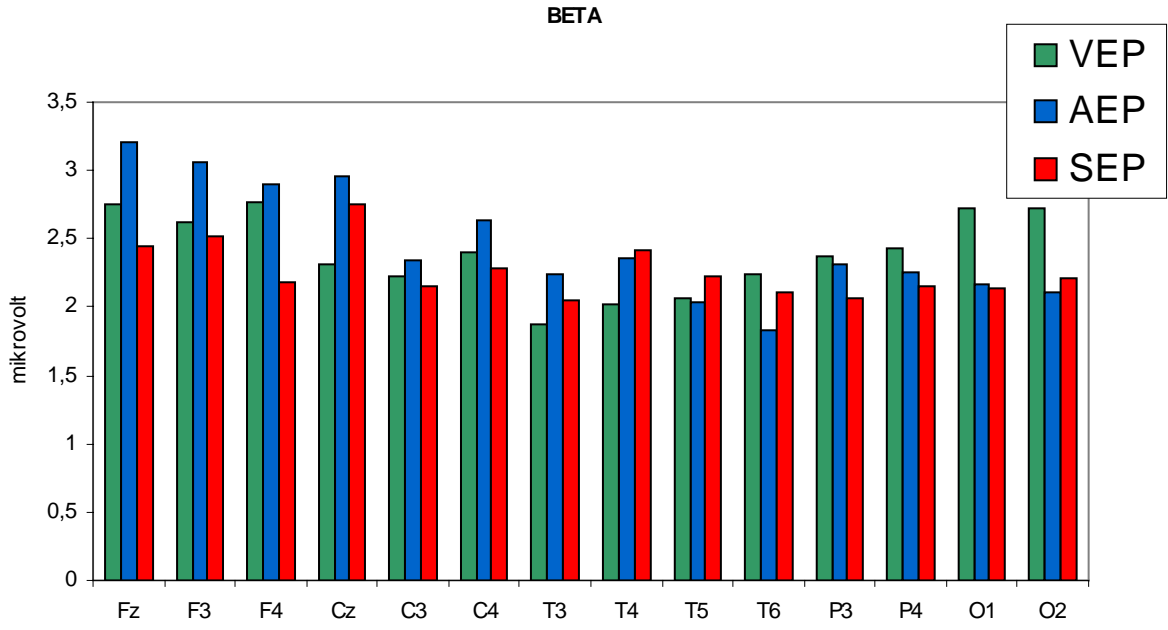
Şekil 6.C. Alfa bandında VEP, AEP ve SEP maksimum genliklerinin elektrot lokalizasyonlarına göre dağılımı

Tablo 6: Beta frekansı için görsel uyarılmış potansiyel (VEP), işitsel uyarılmış potansiyel (AEP) ve somatosensoriyel uyarılmış potansiyel (SEP) gruplarının karşılaştırılması

Frekans	ELEKTROD	(I) GRUP	(J) GRUP	Ort.fark	Std.hata	p
Beta 15-30Hz	Fz	SEP	VEP	-,3080	,33499	1,000
		SEP	AEP	-,7712	,33937	,081
		AEP	VEP	,4632	,33937	,533
F3	F3	SEP	VEP	-,0920	,34167	1,000
		SEP	AEP	-,5395	,34167	,360
		AEP	VEP	,4475	,34167	,587
F4	F4	SEP	VEP	-,5775	,32727	,249
		SEP	AEP	-,7150	,32727	,099
		AEP	VEP	,1375	,32727	1,000
Cz	Cz	SEP	VEP	,4385	,34646	,632
		SEP	AEP	-,2160	,34646	1,000
		AEP	VEP	,6545	,34646	,192
C3	C3	SEP	VEP	-,0765	,26459	1,000
		SEP	AEP	-,1950	,26459	1,000
		AEP	VEP	,1185	,26459	1,000
C4	C4	SEP	VEP	-,1104	,32025	1,000
		SEP	AEP	-,3414	,32025	,874
		AEP	VEP	,2310	,30699	1,000
T3	T3	SEP	VEP	,1758	,28016	1,000
		SEP	AEP	-,2005	,28016	1,000
		AEP	VEP	,3763	,28016	,554
T4	T4	SEP	VEP	,4049	,34198	,725
		SEP	AEP	,0573	,34609	1,000
		AEP	VEP	,3476	,33210	,900
T5	T5	SEP	VEP	,1610	,25910	1,000
		SEP	AEP	,1815	,25910	1,000
		AEP	VEP	-,0205	,25910	1,000
T6	T6	SEP	VEP	-,1351	,21904	1,000
		SEP	AEP	,2845	,22232	,620
		AEP	VEP	-,4196	,22522	,205
P3	P3	SEP	VEP	-,2950	,28256	,903
		SEP	AEP	-,2470	,28256	1,000
		AEP	VEP	-,0480	,27891	1,000
P4	P4	SEP	VEP	-,2720	,26669	,936
		SEP	AEP	-,0960	,26669	1,000
		AEP	VEP	-,1760	,26669	1,000
O1	O1	SEP	VEP	-,5902	,34303	,274
		SEP	AEP	-,0344	,34763	1,000
		AEP	VEP	-,5558	,34303	,334
O2	O2	SEP	VEP	-,5200	,26674	,169
		SEP	AEP	,1057	,27023	1,000
		AEP	VEP	-,6257	,27023	,073

5.7 Beta Bandında SEP Yanıtı:

Üç uyarının yanıtları karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.



Şekil 6.D. Beta bandında VEP, AEP ve SEP maksimum genliklerinin elektrot lokalizasyonlarına göre dağılımı

Tablo 7: Gamma frekansı için görsel uyarılmış potansiyel (VEP), işitsel uyarılmış potansiyel (AEP) ve somatosensoriyel uyarılmış potansiyel (SEP) gruplarının karşılaştırılması

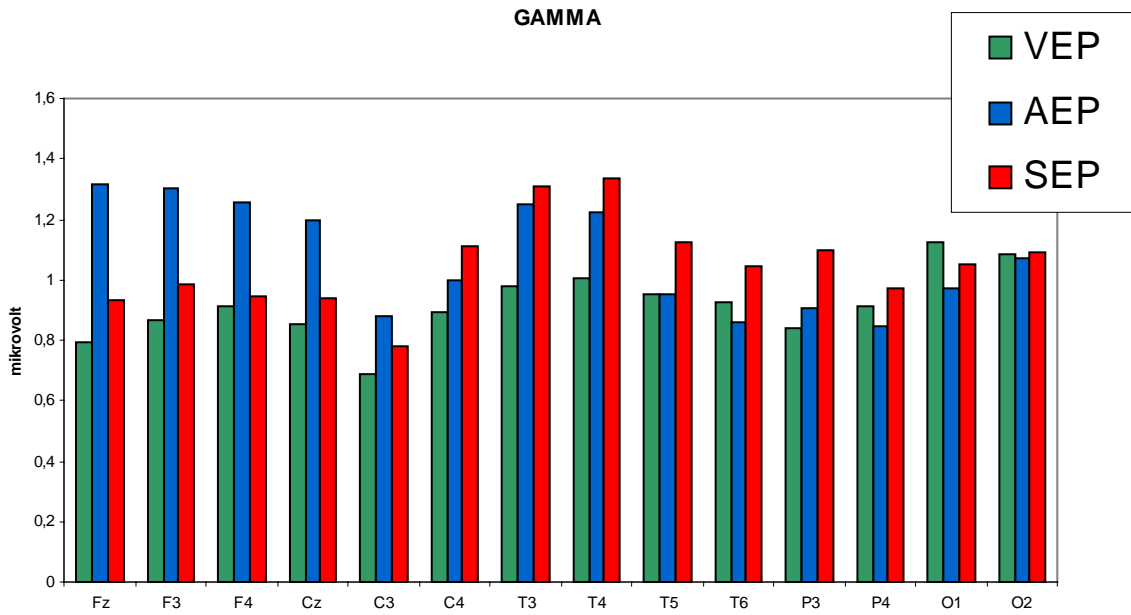
Frekans	ELEKTROD	(I) GRUP	(J) GRUP	Ort.fark	Std.hata	p
gamma 28-48Hz	Fz	SEP	VEP	,1360	,10844	,645
		SEP	AEP	-,3869	,10986	,003*
		AEP	VEP	,5229	,10986	,000*
F3	F3	SEP	VEP	,1250	,12227	,933
		SEP	AEP	-,3135	,12227	,039*
		AEP	VEP	,4385	,12227	,002*
F4	F4	SEP	VEP	,0360	,10659	1,000
		SEP	AEP	-,3080	,10659	,016*
		AEP	VEP	,3440	,10659	,006*
Cz	Cz	SEP	VEP	,0904	,10766	1,000
		SEP	AEP	-,2550	,10766	,064
		AEP	VEP	,3454	,10766	,007*
C3	C3	SEP	VEP	,0925	,10143	1,000
		SEP	AEP	-,0960	,10143	1,000
		AEP	VEP	,1885	,10143	,205
C4	C4	SEP	VEP	,2194	,12694	,269
		SEP	AEP	,1109	,12543	1,000
		AEP	VEP	,1085	,12181	1,000
T3	T3	SEP	VEP	,3300	,18258	,230
		SEP	AEP	,0600	,18773	1,000
		AEP	VEP	,2700	,18532	,454
T4	T4	SEP	VEP	,3358	,15518	,105
		SEP	AEP	,1173	,15518	1,000
		AEP	VEP	,2185	,15104	,461
T5	T5	SEP	VEP	,1700	,12807	,569
		SEP	AEP	,1760	,12807	,524
		AEP	VEP	-,0060	,12807	1,000
T6	T6	SEP	VEP	,1182	,10360	,777
		SEP	AEP	,1792	,10515	,283
		AEP	VEP	-,0610	,10652	1,000
P3	P3	SEP	VEP	,2558	,13012	,163
		SEP	AEP	,1888	,13012	,457
		AEP	VEP	,0670	,12844	1,000
P4	P4	SEP	VEP	,0565	,12551	1,000
		SEP	AEP	,1235	,12551	,988
		AEP	VEP	-,0670	,12551	1,000
O1	O1	SEP	VEP	-,0672	,15280	1,000
		SEP	AEP	,0789	,15485	1,000
		AEP	VEP	-,1461	,15280	1,000
O2	O2	SEP	VEP	,0070	,14530	1,000
		SEP	AEP	,0231	,14720	1,000
		AEP	VEP	-,0161	,14720	1,000

5.8 Gamma Bandında SEP Yanıtı:

Delta, teta ve alfa bandlarındaki değerlere karşıt olarak maksimum yanıtları temporal bölgede (T_3, T_4, T_5), minimum yanıtı ise santral bölgede (C_3) göstermektedir. İstatistiksel olarak yalnızca AEP SEP'e kıyasla frontal bölgede (F_z, F_3, F_4) % 31-40'lık bir gerilim farkıyla anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$).

5.9 Gamma Bandında AEP- VEP Yanıtlarının Karşılaştırılması:

F_z, F_3, F_4 ve C_z lokalizasyonlarında AEP yanıtı VEP yanıtından % 62-41 arasında değişen oranlarda yüksek bulunmuştur. Bu fark istatistiksel olarak ileri derecede anlamlıdır ($p < 0.01$).



Şekil 6.E. Gamma bandında VEP, AEP ve SEP maksimum genliklerinin elektrot lokalizasyonlarına göre dağılımı

6. TARTIŞMA:

6.1. Beyin Osilasyon Çalışmaları

6.1.1. Alfa osilasyonları

Alfa ritmi ilk keşfedildiği yıllarda (Berger 1929) ve Adrian ile Matthews'un (1934) çalışmaları sonrasında "uyanık fakat sakin bir zihin hali" nin ritmi olarak tarif edilmiştir (24). Kaydedilen alfa ritmi, gözler açıldığında bloklandığı için pekçok araştırmacı alfa ritmini vizüel korteksin durağan ritmi olarak kabul etmişlerdir. Alfa'nın durağan bir ritim olduğu, somatosensoriyel sistemde 10 Hz yanıtının taktik uyarılma sonucu bloklandığını gösteren Niedermeyer (1993), Pfurtscheller (1996) ve Lopez da Silva'nın çalışmalarıyla da destek bulmuştur (25,26). Aynı bulgu işitsel korteks için Tiihonen ve ark. ile Niedermeyer'in çalışmaları tarafından gösterilmiştir: İşitsel kortekste alfa ritmi işitsel uyarı verildiğinde bloklanmıştır (27,25).

Daha sonraki çalışmalar, alfa'nın duyuşal işleme bir işlevi olduğunu ortaya koymuştur (28). Buna paralel olarak Klimesch ve ark., yüksek amplitütlü alfaların, ödevle ilişkili olmayan kortikal bölgelerin faaliyetinin inhibisyonuyla, bunun yanında küçük alfaların ödevle ilgili alanların aktif duyuşal süreçleriyle ilişkili olduğunu göstermişlerdir (29,30). Alfa'nın inhibisyonla ilişkili olabileceği görüşü Worden ve ark.'nın yaptığı, beklenen görsel uyarı ile aynı taraftaki hemisferde alfa osilasyonlarının daha yüksek çıktığını gösteren çalışmalarıyla desteklenmiştir (31). Yine Fox ve ark. (1998) ile Fu ve ark. (2001) çalışmalarına göre, vizüel korteksle ilgili osilasyonlar, dikkat işitsel bir uyarıya yöneltildiğinde artmaktadır (32,33). Bu "inhibisyon hipotezine" göre, büyük alfalar beklenmeyen uyarıların inhibisyonunun bir yansıması olarak görülür.

İnsanda yapılan intrakraniyal EEG ve MEG çalışmaları, neokortikal osilasyonlardan teta'nın yanı sıra alfa'nın da kısa süreli bellek işlevleri sırasında değişim gösterdiğini ortaya koymuştur. Kısa süreli bellek işlevlerinde uyarıya kilitli alfa *baseline'a* göre artmaktadır. Bellek yükü arttıkça, uyarıya dışına kilitli alfa (nonstimulation-locked alfa) artmaktadır (34,35,36).

Yamagishi (2003) erken alfa'nın (0-200 ms) beklenen görsel uyarıya büyük, beklenmeyen görsel uyarıya karşılık ise küçük yanıt verdiğini bulmuştur. Bu ve benzeri çalışmalar ışığında alfa kısa süreli bellek, dikkat ve çalışan bellek işlevleriyle ilişkilendirilmiştir (37).

Başar ise alfa yanıtını birincil duyuşal işlemeyle ilişkilendirmiştir (20).

Alfanın farklı bölgelerdeki farklı davranışları ve ödeve göre değişen tepkileri nedeniyle “birden fazla alfa vardır” önermesi yapılmıştır (20).

Somatosensoryel alanla ilişkili olarak, zayıf bir somatosensoryel uyarana karşılık pariyetal bölgede büyük alfa genliği, santral bölgede ise orta büyüklükte alfa, bilinçli somatosensoryel algıyla ilişkili bulunmuştur (38).

Linkenkaer-Hansen ve ark.’nın bulgularından farklı olarak, çalışmamızda ikinci büyük alfa yanıtlarının pariyetal korteksten maksimum yanıtların ise santral bölgeden (*vertekten*) kaydedilmiş olması, kişilere herhangi bir dikkat veya uyarıyı ayırt etme görevi verilmemiş olmasından kaynaklanmış olabilir (38).

Çalışmamızda, somatosensoryel uyarana karşı maksimum alfa yanıtları santral bölgeden (*verteks*) yani birincil somatosensoryel korteks üzerinden kaydedilmiştir. Bu bulgumuz Başar’ın, alfanın, uyarının türüne uygun birincil duysal alanda ortaya çıktığını gösteren bulgularıyla uyum içindedir.

6.1.2. Diğer osilasyonlar

Başar ve ark. işitme eşiğinde verilen uyarılarda insan saçlı derisinden 2 Hz civarında yavaş salınımlar kaydetmişlerdir (39). Başar –Eroğlu ve Başar bir uyarı dizisinde atlanan uyarana (*omitted stimulus*) yanıtların genellikle delta-teta sınırında olduğunu bildirmişlerdir (21). Uyarılmış 2 Hz ritminin sinyal tanıma veya karar vermeyle ilgili olabileceği belirtilmiştir (40). Çalışmamız bulgularından en dikkat çekici noktalardan biri SEP delta (0.5-3.5 Hz) yanıtlarının yaygın bir şekilde tüm kortekste belirgin olarak yüksek ölçülmüş olmasıdır.

Sakowitz ve ark. 2001 yılında yayınladıkları çalışmalarında çiftduysal (*bisensorial*) uyarana karşı beyin yanıtlarında gamma cevabının öne çıktığını belirtmişler ve gamma frekansının duyu arası çağrışım işleviyle ilgili bulmuşlardır (41). Bizim çalışmamızda gamma yanıtı sadece işitsel uyarılarda frontal bölgede öne çıkmaktadır.

Remond ve Lesevre 1957’de frontal lobda öne çıkan bir teta aktivitesi tanımlarken, Mundy-Castle 1951’de temporal bölgelerde teta frekansının baskınlığını tarif etmişti (19).

Westphal ve ark.’nın yaptığı çalışmalarda teta frekansının ön orta hatta (Fz ve Cz lokalizasyonlarında) amplitüdünü en yüksek bulmuşlardır ki bu da Mizuki ve ark.’nın beyin haritalama bulgularıyla uyum içindedir (42,43). Miller 1991’de insanda hipokampustan kaynaklanan teta aktivitesini santral elektrofizyolojik ölçüm zorlukları nedeniyle saptanmasını güç olduğunu rapor etmiştir (44).

Mizuki ve ark. belli bilişsel durumlarda orta prefrontal bölgede 5 Hz teta aktivitesinin ortaya çıkabileceğini bildirmiştir (43). Frontal EEG'nin spektral analizleri teta frekansının motor ve verbal öğrenme ödevlerinde yükseldiğini göstermiştir (42,45). Miller, Lang ve Mizuki'nin bulgularından yola çıkarak 1991'de frontal bölgedeki teta aktivitesinin hippocampustaki teta aktivitesiyle ilişkili olduğu hipotezini desteklediği görüşünü bildirmiştir. Bunun yanında teta ile ilişkili sinyallerin büyük ihtimalle prefrontal ve limbik sistemleri etkilediğini doğrudan veya dolaylı olarak başlıca asosiyasyon korteksi olmak üzere diğer alanları da etkilediğini öne sürmüştür. Yapılan araştırmaların sonuçları uyarılmış potansiyellerde açığa çıkan teta veya düşük frekanslı yanıtların çağrışımsal-bilişsel bir öge taşıdığını düşündürmektedir (21,39,46).

Demiralp ve Başar'ın 1992'de yayınladıkları, işitsel ve görsel ödevlerde ritmisiteleri inceledikleri çalışmalarında, en yüksek teta yanıtlarını bilişsel işlevler sırasında frontal ve pariyetal bölgelerden ölçmüşlerdir ve teta ritminin asosiyatif ve bilişsel işlevlerle ilgili olduğunu ve uyarana özgün olmayan birincil duysal alanlarda ortaya çıktığını vurgulamışlardır (47).

Bizim bulgularımızda teta yanıtı, dokunsal uyarılarda, santral, frontal ve pariyetal bölgelerde yüksek, oksipital bölgede görece düşük ve temporal bölgede minimum olarak kaydedilmiştir. Beynin arka bölgelerinde (T₅, T₆, P₃, P₄, O₁, O₂ lokalizasyonlarında) görsel ve işitsel uyarılmış potansiyellerin teta yanıtlarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur (p<0.05). En büyük teta yanıtı ise, çalışmamızda, santral bölgede işitsel uyarılmış potansiyellerde ortaya çıkmıştır.

6.2. Somatosensoriyel korteks aktivitesiyle ilgili literatür

6.2.1. Somatosensoriyel kortekste mü ritmi (Rolandik mü ritmi)

Somatosensoriyel korteksle ilgili EEG ve MEG çalışmalarında ilk 1952'de Gestaut tarafından tanımlanan mü ritmi incelenmektedir. Somatosensoriyel korteksin 10 Hz ve 20 Hz'lik spontan titreşime sahip olduğu ve bu titreşimin somatosensoriyel uyarın verildiğinde veya motor hareket başlatıldığında azaldığı tespit edilmiştir (48). Tiihonen, Salmelin ve Hari çalışmalarında 20 Hz titreşiminin presantral girusta (motor alan) 10 Hz titreşiminin ise postsantral girusta (duyusal alan) olduğunu göstermişlerdir (27,49). Pfurtscheller (1996) ile Pfurtscheller ve Lopez da Silva (1999) çalışmalarında somatosensoriyel uyarılma ile birlikte kortekste 10 Hz osilasyonunun azaldığını göstermişlerdir (50,51).

Hughes ve ark. vizüel korteksin alfa aktivitesi ile somatosensoryel mü ritmini eş tutmuşlar ve bu salınımların talamustan kaynaklandığını bildirmişlerdir (52).

Bizim bulgularımız santral bölgedeki 10 Hz aktivitesinin, uyarana kilitli olarak baskılanmadığını, tam tersine yükseldiğini göstermektedir. Ayrıca 20 Hz frekansına denk düşen beta osilasyonları da bulgularımıza göre motor korteks üzerinde belirgin bir hareket göstermemiştir. Bulgularımız somatosensoryel korteksin özgün titreşimi olarak ölçülen 20 Hz ritminin olasılıkla beta osilasyonlarından ayırt edilmesi gereken titreşimler olduğunu düşündürmektedir. Motor planlama veya hareket içeren paradigmlar ile beta yanıtlarının incelenmesi bu sorunun yanıtına katkıda bulunacaktır.

6.2.2. Somatosensoryel kortekste yüksek frekanslı osilasyonlar (300-1000 Hz)

Bizim dikkate almadığımız fakat literatürde dikkat çeken bir konu da, somatosensoryel osilasyonlarla ilgili araştırmaların daha çok yüksek frekanslı osilasyonlar üzerine yapılmış olmasıdır. (53,54,55,56) Ortak sonuç yüksek gamma frekansının talamus aktivitesinden kaynaklandığı ve inhibitör ara nöron aktivitesini yansıttığıdır.

6.2.3. Somatosensoryel uyararla yapılan olaya ilişkin potansiyel çalışmaları

Literatürde somatosensoryel uyarılmış potansiyellere ilişkin çalışmalar daha çok zaman bileşenini inceleyen, normal değerlerin saptanmasını amaçlayan, yeni doğan ve yaşlı (57) ölçümlerini inceleyen veya seçici dikkat ile ilgili çalışmalar (58,59) bulunmaktadır. Somatosensoryel uyarılmış potansiyellere ilişkin çalışmalar genellikle medyan sinire elektriksel uyarı verilmesiyle yapılmıştır.

Eimer ve ark. (2002) sağ hemisfer lezyonlu bir kişide dokunsal uyarana karşılık SEP'leri incelemişler ve değişken olarak sağ, sol ve her iki işaret parmaklarına aynı anda dokunsal uyarı verip hastaya hissedip hissetmediğini sormuşlardır. Hasta %75 oranında çift taraflı uyarıları sadece sağ elinde hissetmiştir. Sol ele verilen uyarıların %11'ini hissetmemiştir. Ancak hissetmediğini ifade ettiği durumlarda da sağ hemisferinde ilk duysal işlemlerin gerçekleştiğine dair potansiyeller kaydedilmiş ve bunların uyarı yerini ayırt etmede önemli olabileceği üzerinde durulmuştur (58). Buna benzer çalışmalar rehabilitasyon yöntemlerinin mekanizmalarının aydınlatılmasında faydalı olabilir.

Kekoni ve ark. sol orta parmağa verdikleri taktil uyarı ve vibrasyon duyularının alışkanlık ve uyarının ani yer ve şekil değişikliğine verdiği yanıtları incelemişler

yanıtların birincil ve ikincil somatosensoryel alanlardan çok prefrontal kortekste meydana geldiğini bildirmişlerdir (60). Bizim bulgularımız da SEP yanıtlarının delta , teta ve alfa frekanslarında santral ve pariyetal bölgelerin yanında prefrontal bölgede de yüksek aktivasyon olduğunu göstermiştir.

6.2.4. Ekstraselüler ölçüme dayalı deneysel çalışmalar

2000'de Zhou ve Fuster'in maymunlarla yaptıkları bir araştırmada işitsel uyararla bağlantılı bir dokusal ödevi yerine getirirken somatosensoryel korteksteki hücrelerin aktivitesi ekstraselüler olarak kaydetmiş ve hücrelerin işitsel uyarılar sırasında da aktive olduğunu bulmuşlardır (61). Buradan somatosensoryel alanların dokusal olmayan uyarılara da yanıt verdiğini çıkarsamışlardır. Bizim elde ettiğimiz bulgularda da özellikle beynin ön kısmında SEP yanıtlarıyla AEP yanıtlarının topolojik dağılım ve frekans bandları açılarından paralellik gösterdiği dikkat çekmektedir.

6.3. Çalışmamızın özgünlüğü

Çalışmamızın özgünlüğü, ilk defa bu tip araştırmalar için üretilmiş olan ve mekanik uyarı sağlayan pnömatis bir uyarıcının kullanılmış olmasıdır. Literatürde genellikle medyan veya tibial sinire eşik üstü elektriksel uyarı verilerek SEP çalışmaları yapılmıştır. Uyarılmış beyin osilasyonlarını araştıran bir çalışmaya rastlanamamıştır. Elektriksel uyarı, taktil uyarıdan ağrı bileşeni içermediği ve doğal olmaması nedeniyle farklılık göstermektedir. Bu farklılık beynin SEP yanıtlarını da etkileyecek niteliktedir.

Buchta (1980): Elektrik stimülasyonla karşılaştırıldığında mekanik uyarının cilt tarafından tanımlanması ve işleme süreci daha fazla zaman almaktadır. Onofrij ve ark. bu bulguya şu şekilde destek vermişlerdir: Mekanik uyarı sonrası kaydedilen SEP bileşenlerinin elektrik uyarıcı sonrası kaydedilen SEP bileşenlerinden daha kısa latanslı ve düşük amplitüdü olduğunu bulmuşlardır (62). Biz de çalışmamızda somatosensoryel işleme süreçleri hakkında bilgi edinmek amacıyla çok çalışılan elektriksel uyarı yerine günlük hayatta doğal olarak karşılaştığımız hafif bası şeklindeki dokunma duyusunu kullandık.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER:

1. SEP yanıtlarının birincil ve ikincil somatosensoryel korteks alanlarında (postcentral gyrus ve pariyetal lob) yüksek olması Başar'ın (1991) alfa cevabının birincil duyu işlemeyle ilgili olduğu önermesini desteklemektedir. Fakat SEP alfa yanıtı birincil görsel alan olarak kabul edilen oksipital kortekste de yüksek bulunmuştur.

2. Santral bölgede (Cz) somatosensoryel uyarana karşı hem alfa hem teta yanıtları maksimum düzeydedir. Dokunsal uyaranda teta yanıtının primer duysal alanda da yüksek çıkması primer somatosensoryel kortekste de asosiyatif işlevlerin fazla olduğunu düşündürmektedir.

3. Kopell ve von Stein'a göre yavaş osilasyonlar hızlılara göre daha uzun mesafelerde senkronize olabilirler (63,64). Yaygın delta yanıtının somatosensoryel duyu işlemeinde beyin birbirinden uzak bölgelerinin senkronize çalışmasını gerektirdiğinden mi kaynaklandığı sorusu ortaya çıkmaktadır. Bu sorunun yanıtı için daha ileri analizlere ihtiyaç vardır.

4. Uyarılmış beyin osilasyonları uyaran tipine spesifik yanıtlar vermişlerdir. Beyin osilasyonları beyinin veri işleme hakkında bilgi sunabilecek değerli bileşenlerdir.

5. Santral duyu işleme hakkında fikir vermesiyle, beyin osilasyon analizleri, rehabilitasyon araştırmaları alanında kullanılabilir bir yöntem olabilir.

8. KAYNAKLAR:

- 1) www.mcatürk.com
- 2) Delgado JMR: Electrodes for extracellular recording. In: Nastuk, WL (ed.): Physical Techniques in Biological Research, Vol.5. Electrophysiological Methods. Part A. Academic Pres, New York London. 1964.
- 3) Thompson RF: Foundations of Physiological Psychology. Harper and Row, New York 1967
- 4) Eccles JC: The Physiology of nevre cells. John Hopkins Press, Baltimore, MD 1957
- 5) Caton R: The electric currents of the brain. Brit Med J II: 278, 1875
- 6) Mountcastle VB: Medical Physiology. Mosby, Saint Louis, MO 1974
- 7) Chang HT: The evoked potentials. In Field, J (ed.): Handbook of Physiology, Vol. 1. Amer Physiol Soc, Washington DC 1959
- 8) Hodgkin AL: The Conduction of the Nervous Impulse. University Press, Liverpool 1965
- 9) Steriade M, Jones EG, Llinas RR: Thalamic Oscillations and Signaling. New York: John Wiley 1990
- 10) Kelly JP, Dodd J: Anatomical organization of the nervous system .in Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM, (eds.) Principles of Neural Science. Elsevier, New York Amsterdam London Tokyo 1991
- 11) Bressler SL: Event-Related Potentials. In: M.A. Arbib (Ed.) The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, Cambridge MA 2002
- 12) König P, Engel AK, Singer W: Relation between oscillatory activity and long-range synchronization in cat visual cortex. Proc Natl Acad Sci 92:290-4, 1995.
- 13) Sarnthein, J, Petsche H, Rappelsberger P ve ark.: Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory, Proc. Nat Acad Sci USA, 95: 7092-7096, 1998
- 14) von Stein A, Chiang C, König P: Topdown processing mediated by interareal synchronization. Proc Natl Acad Sci USA, 97: 14748-53, 2000
- 15) Eckhorn R, Bauer R, Jordan W ve ark: Coherent oscillations: a mechanism of feature linking in the visual cortex? Biol Cybern 60: 121-30, 1988
- 16) Gray CM, Singer W: Stimulus-specific neuronal oscillations in the cat visual cortex: a cortical function unit. Soc Neurosci Abstr 404: 3, 1987

- 17) Başar E (Ed.): EEG-Brain Dynamics. Relation Between EEG and Evoked Potentials. Elsevier, Amsterdam 1980
- 18) Başar E: Brain Function and Oscillations. I. Brain Oscillations: Principles and Approaches. Springer, Berlin Heidelberg, 1998
- 19) Başar E: Brain Function and Oscillations. II. Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes, Springer, Berlin Heidelberg 1-474, 1999
- 20) Başar E ve ark.: Alpha oscillations in brain functioning: an integrative theory. *Int J Psychophysiol* 26: 5-29, 1997
- 21) Başar E, Başar-Eroğlu C, Karakaş S ve ark.: Gamma, alfa, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *Int J of Psychophysiol* 39: 241-248, 2001
- 22) Posner MI, Petersen SE : The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci* 13:25-42, 1990
- 23) Goldman-Rakic, P: Topography of cognition: Parallel distributed networks in primate association cortex. *Ann Rev Neurosci* 11: 137-156, 1988
- 24) Adrian ED, Matthews BHC: The Berger rhythm, potential changes from the occipital lobe in man. *Brain* 57: 345–359, 1934
- 25) Niedermeyer E: Maturation of the EEG: Development of waking and sleep patterns. In: E. Niedermeyer and F. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*. Williams and Wilkins, Baltimore, pp. 167-191. 1993
- 26) Pfurtscheller G, Stancak JrA, Neuper C: Post-movement beta synchronization. A correlate of an idling motor area? *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 98: 281-93, 1996
- 27) Tiihonen J, Kajola M, Hari R: Magnetoencephalographic 10 Hz rhythm from the human auditory cortex. *Neurosci Lett* 192: 303-5, 1992
- 28) Ray WJ, Cole HW: EEG activity during cognitive processing: influence of attentional factors. *Int J Psychophysiol* 3(1): 43-8, 1985
- 29) Klimesch W: Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. *Int J Psychophysiol* 24: 61–100, 1996
- 30) Klimesch W: EEG-alpha rhythms and memory processes. *Int J Psychophysiol* 26: 319–340, 1997

- 31) Worden MS, Foxe JJ, Wang N, Simpson GW: Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific alpha-band electroencephalography increases over occipital cortex. *J Neurosci* 20 RC63:1–6, 2000
- 32) Foxe JJ, Simpson GV, Ahlfors SP: Parieto-occipital approximately 10 Hz activity reflects anticipatory state of visual attention mechanisms. *Neuroreport* 9: 3929–3933, 1998
- 33) Fu KMG, Foxe JJ, Murray MM ve ark: Attention depended suppression of distracter visual input can be cross-modally cued as indexed by anticipatory parieto-occipital alpha-band oscillations. *Cogn Brain Res* 12: 145–152, 2001
- 34) Raghavachari, S, Kahana, MJ, Rizzuto ve ark.: Gating of human theta oscillations by a working memory task. *J Neurosci* 21: 3175–3183, 2001
- 35) Jensen O, Gelfand J, Kounios J, Lisman JE: Oscillations in the alpha band (9-12 Hz) increase with memory load during retention in a short-term memory task. *Cerebr Cortex* 12: 877–882, 2002
- 36) Halgren E, Boujon C, Clarke J, Wang C, Chauvel P: Rapid distributed frontoparieto-occipital processing stages during working memory in humans. *Cerebr Cortex* 12: 710–728, 2002
- 37) Yamagishi N, Callan DE, Goda N ve ark.: Attentional modulation of oscillatory activity in human visual cortex. *NeuroImage* 20: 98–113, 2003
- 38) Linkenkaer-Hansen K, Nikouline VV, Palva JM : Long-range temporal correlations and scaling behaviour in human brain oscillations. *The J of Neurosc* 21 (4): 1370-7, 2001
- 39) Başar E, Schürmann M, Demiralp T ve ark.: Event-related oscillations are ‘real brain responses’ wavelet analysis and new strategies. *International Journal of Psychophysiology* 39: 91-127, 2001
- 40) Schürmann M, Başar E: Functional aspects of alpha oscillations in the EEG. *Int J of Psychophysiol* 39: 151-158, 2001
- 41) Sakowitz OW, Quiroga RQ, Schürmann M ve ark.: Bisensory stimulation increases gamma-responses over multiple cortical regions. *Cognitive Brain Research* 11(2): 267-279, 2001
- 42) Westphal KP, Grötzinger B, Diekmann V ve ark.: Slower theta activity over the midfrontal cortex in schizophrenic patients. *Acta Psychiatr Scand* 81. 132-8, 1990

- 43) Mizuki Y, Masotoshi T, Isozaki H ve ark.: Periodic appearance of theta rhythm in the frontal midline area during performance of a mental task. *Electroenceph clin Neurophysiol* 49: 345-351, 1980
- 44) Miller R: *Cortico-hippocampal interplay and the representation of contexts in the brain*. Berlin: Springer Verlag 1991
- 45) Lang M, Lang W, Diekmann V, Kornhuber HH: The frontal theta rhythm indicating motor and cognitive learning. In: Johnson JrR., Rohrbaugh J, Parasuraman R (Eds.): *Current Trends in Event-related Potential Research*. *Electroenceph clin Neurophysiol Suppl.* 40, Elsevier, Amsterdam 1989
- 46) Sakowitz O, Başar E, Schürmann M: The selectively distributed teta system: functions. *International Journal of Psychophysiology* 39: 197-212, 2001
- 47) Demiralp T, Başar E: Theta rhythmicities following expected visual and auditory targets. *Int J Psychophysiol* 13: 147-160, 1992
- 48) Hari R, Salenius S: Rhythmical corticomotoneuronal communication. *Neuro Report* 10 R1R10, 1999
- 49) Hari R, Salmelin R: Human cortical oscillations: a neuromagnetic view through the skull. *Trends Neurosci* 20: 44-9, 1997
- 50) Pfurtscheller G, Stancak A Jr, Neuper C: Event-related synchronization (ERS) in the alpha band-an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. *Int J Psychophysiol* 24: 39-46, 1996
- 51) Pfurtscheller G, Lopes da Silva FH: Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clin Neurophysiol* 110: 1842–1857, 1999
- 52) Hughes SW, Lorincz M, Cope DW ve ark.: Synchronized oscillations at alfa and teta frequencies in the lateral geniculate nucleus. *Neuron* 42 (2): 253-268, 2004
- 53) Curio G, Mackert BM, Burghoff M ve ark.: Localization of evoked neuromagnetic 600 Hz activity in the cerebral somatosensory system. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 91: 483-7, 1994
- 54) Osaki I, Suzuki C, Yagashi Y ve ark.: High frequency oscillations in early cortical somatosensory evoked potentials. *Electroenceph clin Neurophysiol* 108: 536-42, 1998

- 55) Gobbelé R, Buchner H, Scherg M, Curio G: Stability of high-frequency (600 Hz) components in human somatosensory evoked potentials under variation of stimulus rate – evidence for a thalamic origin. *Clinical Neurophysiology* 110(9): 1659-1663,1999
- 56) Tanosaki M, Iguchi Y, Takino R ve ark.: Somatosensory information processing in area 3b for thumb and middle finger in humans. *Int Congress Series* 1232: 203-6, 2002
- 57) Pihko E, Lauronena L: Somatosensory processing in healthy newborns. *Experimental Neurology* 190 Supplement 1: 2-7, 2004
- 58) Eimer M., Forster B.: The spatial distribution of attentional selectivity in touch: evidence from somatosensory ERP components. *Clin Neurophysiol* 114: 1298-1306, 2003
- 59) Kida T, Nishihira Y, Wasaka T ve ark.: Differential modulation of temporal and frontal components of the somatosensory N140 and the effect of interstimulus interval in a selective attention task. *Cognitive Brain Research* 19: 33-39, 2004
- 60) Kekoni J, Haemaelaenen H, Saarinen M ve ark.: Rate effect and mismatch responses in the somatosensory system: ERP-recordings in humans. *Biol Phys* 46: 125-42, 1997
- 61) Zhou YD, Fuster JM: Visuo-tactile cross-modal associations in cortical somatosensory cells. *Proc Natl Acad Sci USA* 15;97(17):9777-82, 2000
- 62) Onofrj M, Ghilardi MF, Basciani M, Martinez-Tica J, Glover A. Attenuation of the early anterior negativity of median nerve somatosensory evoked potential in the MPTP-treated monkey. *Neurophysiol Clin* 20: 283–93, 1990
- 63) Kopell N, Ermentrout GB, Whittington MA, Traub RD: Gamma rhythms and beta rhythms have different synchronization properties. *Proc Natl Acad Sci USA* 97: 1867-72, 2000
- 64) Von Stein A, Sarnthein J: Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha /theta synchronization. *International J of Psychophysiol* 38: 301-13, 2000

02.KB.SAĞ.027 ve 03.KB.SAĞ.064 no'lu proje kapasamındaki araç ve yöntemlerden faydalanılmıştır.