

Somatosensory uyarılmış potansiyeller

Dr. Gülten TUNALI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroloji Anabilim Dalı

- ✓ Uyarılmış potansiyeller, duyuusal stimülasyonlara sinir sisteminin bilgisayar vasıtasıyla ortalamış elektriksel cevaplardır. Stimülasyonun cinsine göre farklı tipde uyarılmış potansiyeller gelişir: görsel uyarılmış potansiyeller, işitsel uyarılmış potansiyeller ve somatosensory uyarılmış potansiyeller. Uyarılmış potansiyeller duyu organlarında iletimi test etmek için kullanılır. Bu makalede somatosensory uyarılmış potansiyelin tanımı, stimülasyon ve kayıtlama metodları ve önemi gözden geçirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Somatosensory uyarılmış potansiyeller, klinik uygulama.

Somatosensory evoked potentials

- ✓ Evoked potentials are defined as computer averaged electric responses of the nervous system to sensory stimulations. Different types of evoked potentials (EPs) can be distinguished by stimulus modality: visual EPs, auditory EPs and somatosensory EPs. EPs are used to test conduction through sensory pathways. The definition, methods of stimulating and recording and significance of somatosensory evoked potentials are reviewed in this article.

Key words: Somatosensory evoked potentials, clinical application.

Uyarılmış potansiyeller, duyuusal stimülasyonlara karşı sinir sisteminde oluşan elektrik cevaplarıdır. Bu cevaplar, latans ve amplitüdlere göre değerlendirilen dalga veya defleksiyonlarından oluşmaktadır. Bu potansiyeller görsel veya işitsel uyarılar vererek ya da duyu sinirlerinin elektrik stimülasyonu ile oluşmaktadır (1).

Bir stimülasyon sonrası gelişen tek bir cevap o kadar düşük amplitüdüdür ki spontan EEG dalgası arasında kısmen veya tamamen gizlenmiştir. Bu nedenle uyarılmış potansiyelleri (EP) EEG aktivitesinden ayırt etmek için tekrarlayan stimülasyonlara karşı meydana gelen cevaplar bir bilgisayar vasıtasıyla ortalamış. Bu yöntemle EEG dalgalarını amplitüdlere giderek azalırken uyarılmış potansiyellerin amplitüdü giderek artar (1).

EP'ler görsel, işitsel ve somatosensoryel sistemdeki iletimi test etmek için kullanılır ve klinik muayene veya diğer laboratuvar tetkiklerle gösteremeyeceğimiz lezyonları tespit edebilecek kadar sensitiftir. Ayrıca uyarılmış potansiyeller duyu yollarının değişik segmentlerinde ortaya çıkan lezyonları lokalize etmeye yardımcı eder (1).

Uygulanan stimülasyonun cinsine göre EP'ler görsel, işitsel ve somatosensory uyarılmış potansiyeller olmak üzere üç kısma ayrılır (Tablo 1) (1).

EP'ler jeneratör lokalizasyonuna göre kortikal ve subkortikal olmak üzere ikiye ayrılır. Kortikal EP'ler, kortikal alanlarda oluşan, latans değerleri 10-20 ms üzerinde olan, amplitüdlere 10 µV'a kadar veya daha büyük olan potansiyeller olup yakın-alan (near-field) kayıtlama yöntemi kullanılarak kaydedilen potansiyellerdir. Subkortikal EP'ler kortikal reseptif alana giden yol üzerinde bulunan nöron zincirleri tarafından meydana getirilen potansiyeller olup bunların latans değerleri 10-20 ms'den azdır. Beyin sapı ve spinal kord, kayıt elektrodlarından uzak olduğundan ve arada bulunan dokuların etkisiyle ettenue olan potansiyellerdir. 1 µV'dan daha düşük amplitüd değerleri gösterdiği için uzak-alan (far-field) yöntemi ile kaydedilir.

Kullanılan kayıt yöntemlerine göre uyarılmış potansiyeller yakın-alan (near-field) ve uzak-alan (far-field) potansiyelleri olmak üzere ikiye ayrılır: Yakın-alan kayıtlama yöntemi kortikal EP'lerin kaydedilmesinde kullanılır. Aktif elektrod ça-

Tablo I. Uyarılmış Potansiyeller

A) Stimulasyon tipine göre <ol style="list-style-type: none"> 1) Görsel uyarılmış potansiyeller 2) İşitsel uyarılmış potansiyeller 3) Somatosensoriyal uyarılmış potansiyeller <ol style="list-style-type: none"> a) Kol sinir stimulasyonu ile b) Bacak sinir stimulasyonu ile c) Diğer SEP'ler 	C) Kayıt yerine göre <ol style="list-style-type: none"> 1) Skalp uyarılmış potansiyeller 2) Boyun uyarılmış potansiyeller 3) Klavikular uyarılmış potansiyeller 4) Lumbasakral uyarılmış potansiyeller
B) Uyarılmış potansiyel orijinine göre <ol style="list-style-type: none"> 1) Kortikal uyarılmış potansiyeller 2) Subkortikal uyarılmış potansiyeller <ol style="list-style-type: none"> a) Beyin sapı uyarılmış potansiyelleri b) Spinal uyarılmış potansiyelleri c) Brakial pleksus uyarılmış potansiyelleri d) Kauda equina uyarılmış potansiyelleri e) Sensori sinir aksiyon potansiyeli (SSAP) 	D) Kayıt yöntemine göre <ol style="list-style-type: none"> 1) Near-Field uyarılmış potansiyeller 2) Far-Field uyarılmış potansiyeller
	E) Stimulasyon tek veya iki taraflı olmasına göre <ol style="list-style-type: none"> 1) Tek taraflı stimulasyon ile kayıt edilen EP'ler 2) İki taraflı stimulasyon ile kayıt edilen EP'ler

lışılan alana yakın olmak üzere saçlı deri üzerine, referans elektrodu ise birkaç cm. uzağa elektriksel yönden daha sessiz bir bölgeye konur. Uzak alan kayıtlama yöntemi beyin sapı ve spinal kordda yani yüzeyel elektrodan uzakta meydana gelen potansiyelleri kaydetmek için kullanılır. Referans elektrodu aktif elektrodan uzağa konur. Eğer aktif elektrodu skalp'e referans elektrodunu aktif elektrodan uzak bir yere -omuza veya dize- koyarsak tüm afferent yolda meydana gelen subkortikal potansiyelleri kaydedebiliriz.

EP kayıtlarında ortaya çıkan potansiyelleri kortikal potansiyeller, subkortikal potansiyeller ve hissi sinirden kaydedilen uyarılmış potansiyeller olmak üzere üç grupta toplamaktayız (Tablo 1) (1).

1. Kortikal uyarılmış potansiyeller; verilen stimulusa cevap olarak sinir hücre gödesi ve dentrit membranında meydana gelen inhibitör ve eksilatör postsinaptik potansiyellerin yerel ve zamansal toplamıdır.

2. Subkortikal uyarılmış potansiyeller; iki komponentten oluşmaktadır. Subkortikal ara nukleuslarda bulunan nöron topluluklarında meydana gelen postsinaptik potansiyeller ve birleştirici aksonal traktlarda meydana gelen potansiyeller.

3. Duysal sinirde kaydedilen uya-

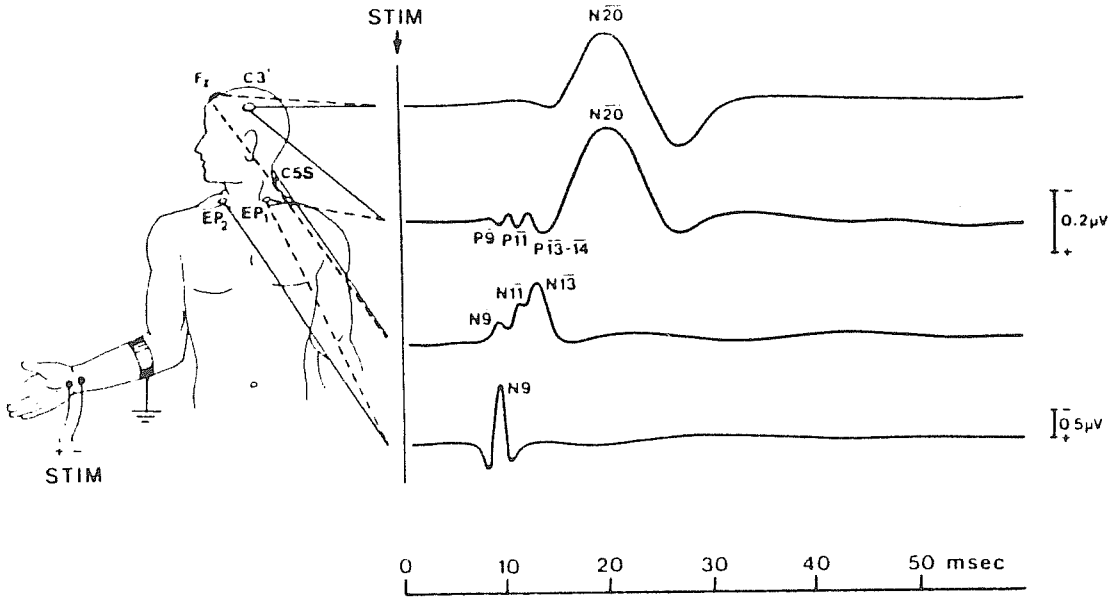
rılmış potansiyel; sinir liflerinin membranları boyunca senkron olarak meydana gelen depolarizasyon dalgasına bağlıdır. Cilt üzerine konan elektrodun altından geçerken bu depolarizasyon dalgası büyük bir negatif defleksiyona yol açar. Bu negatif dalganın önünde ve arkasına küçük amplitüdü pozitif defleksiyonlar ortaya çıkar. Bunlar depolarizasyon dalgasının yaklaşması ve depolarizasyon dalgasının uzaklaşmasına bağlıdır (1).

EP'ler kol veya bacakta bir mikst sinirin elektrik şoklarla uyarılması sonucu oluşur. Median sinir bilekten uyarılır. Klavikula üzerinde Erb noktasına konan elektrodan (klavikular SEP veya Erb noktası potansiyeli) boyundan (servikal SEP) ve parietal skalp dan (skalp SEP) yapılan kayıtlarla sırasıyla brakial pleksus, üst servikal kord ve somatosensori korteksten orijin alan potansiyeller kaydedilir (Şekil 1).

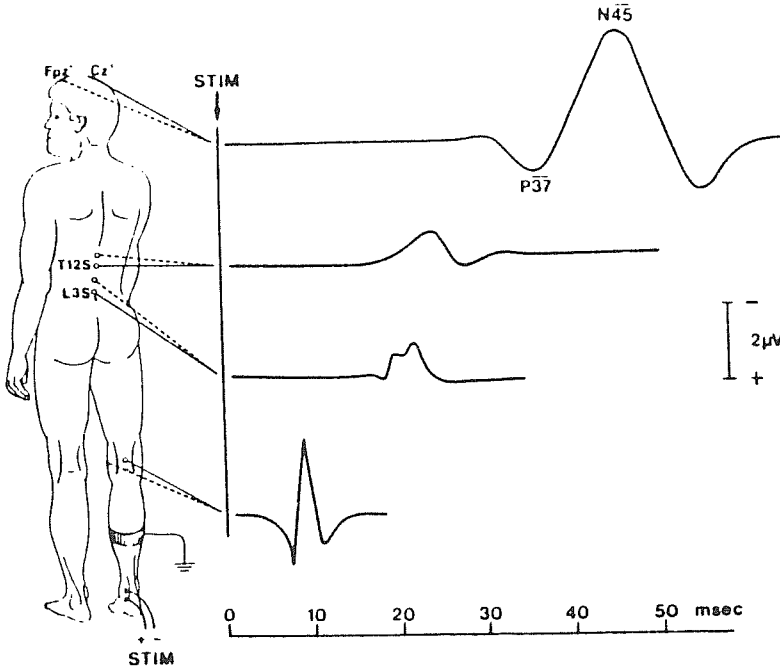
Bacakta posterior tibial sinir ayak bileğinden ve peroneal sinir dizde popliteal fossadan uyarılarak lumbal (lumbal SEP), alt torasik bölgeden (torasik SEP) ve skalpten (skalp SEP) yapılan kayıtlarda sırasıyla kauda equina, alt spinal kord ve somatosensori korteksten orijin alan potansiyeller kaydedilir (Şekil 2 ve 3).

Posterior tibial sinir stimulasyonunda periferik duysal iletimi daha iyi değerlendirmek için popliteal fossadan da kayıt yapılır.

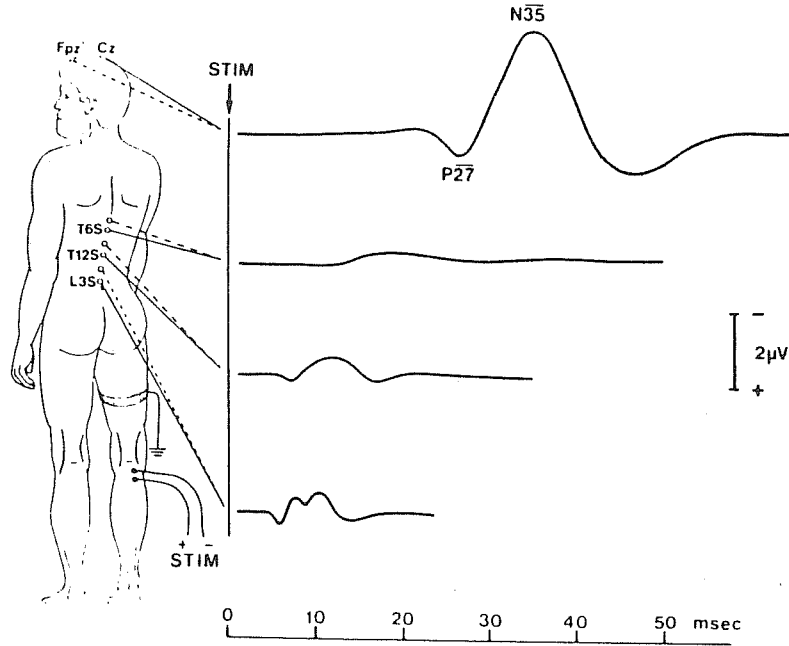
Trigeminal sinir stimulasyonu ile SEP,



Şekil 1. Median sinir stimülasyonu ile normal SEP kayıtları. Traseler aşağıdan yukarı doğru: Erb noktası potansiyeli (N9), servikal SEP (N13), uzak-alan (skalp ile nonsefalik referans elektrodu arasında) kortikal SEP ve yakın-alan (skalp ile sefalik referans elektrodu arasında) kortikal SEP (N20).



Şekil 2. Posterior tibial sinir stimülasyonu ile normal SEP kayıtları. Traseler aşağıdan yukarı doğru: Popliteal fossa potansiyeli, lomber ve alt torasik spinal potansiyeller ve scalp SEP.



Şekil 3. Peroneal sinir stimülasyonu ile normal SEP kayıtları. Traseler aşağıdan yukarı doğru: Lumbar, alt torasik, orta torasik spinal potansiyeller ve skalp SEP.

pudental sinir ve mesane mukozasının stimülasyonu ile SEP, elektrik şoklar dışında başka stimülasyonlar (temas-eklem pozisyon değişikliği) ile SEP ve dermatomların uyarılması ile yapılan SEP yöntemleri rutin yöntemler değildir (2).

Hepsi olmasa bile SEP dalgalarının büyük bölümü spinal kordda dorsal kolonda bulunan lifler, beyin sapında yer alan medial lemniskal sistem, talamusun VPL (ventral posterolateral) ve VPM (ventral posteromedial) nukleusları ile taşınan impulslarla oluşmaktadır. Ancak spinal kordda anterolateral kolonda yer alan assenden lifler ile beyin sapındaki ekstralemniskal liflerle taşınan impulslar da SEP'lerin oluşumunda rol oynar (3-6).

Klinikte ağrı ve ısı duyusunu azaltan lezyonlardan ziyade vibrasyon ve pozisyon duyusunu bozan lezyonlarda SEP anormallikleri ile karşılaşırız (1,3-6).

Hastanın kayıt sırasında yatakta rahat bir pozisyonda uzanması gerekir. Bütün kayıt noktalarındaki kasların özellikle de

skalp ve boyun kaslarının kasılması sonucu oluşan kas potansiyelleri kontaminasyona neden olduğundan hastanın tam anlamıyla gevşemesi gerekmektedir. Eğer uygun pozisyona rağmen hasta gevşemiyorsa hastaya sedatif veya hipnotik ilaçlar verilebilmektedir. Dikkatteki değişiklikler, uyku ve santral sinir sistemi depresanları subkortikal ve kısa latanslı kortikal cevapları etkilemez (1).

Ekstremitte ısısının düşmesine izin verilmemelidir. Çünkü düşük vücut ısısı tepe latansların uzamasına neden olur. Derin santral hipotermi veya hipertermi SEP'leri değiştirebilir. Stimülasyon ve kayıt elektrodları arasındaki mesafeler, periferik ve santral iletim hızlarını tayin edebilmek için ölçülmelidir (1).

Periferik sinire uygulanan elektrik şoklar yüzeysel veya iğne elektrodlar kullanılarak verilir. Parmak stimülasyonu için yüzük elektrodlar kullanılmaktadır. Stimulus artefaktını ve rahatsızlığı azaltmak için elektrod impedansının 10 kilo-

ohm'dan daha düşük olması gerekmektedir. Sinir stimülasyonu için iki elektrodun sinir trasesine uygun şekilde katod proksimale, anod distale gelecek şekilde yerleştirilmelidir (1).

Mikst sinirlerin uyarılması ideal olmaktan uzaktır. Çünkü bu sinirlerin uyarımı ile 1) Cilt, derin dokular, kas ve eklemlerden gelen tüm afferentler uyarılır ve impluslar skalp seviyesine kadar çeşitli yollarla taşınır 2) Sadece duyuşal lifler uyarılmakla kalmaz motor liflerin uyarılması ile antidromik akım klavikular ve lomber seviyelerde SEP komponentlerine katkıda bulunur. Bu bakımdan saf somatosensori input değerlendirilmesi esas olduğunda stimülasyonun duyuşal sinirlere veya mikst sinirlerin duyuşal dallarına uygulanması gerekir (1,3-7).

Stimülasyonun şiddeti, mikst sinirlerde motor eşik değerinin üzerinde olmalıdır. Motor eşik değeri sinirin innerve ettiği kasta gözle görülebilir kas kontraksiyonuna neden olan stimulus şiddetidir. Eğer şiddetli periferik nöropati nedeniyle bu kas kontraksiyonu ortaya çıkmıyorsa normal kişilerde motor eşit değeri olan 5-15 mA'lık stimülasyon şiddeti uygulanır. Sensori sinir stimülasyonu için stimulus şiddeti sensori eşik değerinin 2,5-3 katı olmalıdır (1).

Stimülasyon süresi mikst sinirler için 200 mikrosaniye olmalıdır. Daha kısa süreli elektrik şoklar duyuşal liflerden çok motor liflerin uyarımına neden olur.

Stimülasyon hızı saniyede 4-7 olmalıdır. Klinik yönden önemli olan kısa latanslı dalgaların kaydında frekans 10'a kadar çıkabilir ise de bu, hasta için rahatsızlık yaratır.

Tek taraflı veya iki taraflı stimülasyon: Anormalliği lateralize etme yönünden tek taraflı stimülasyon tercih edilmelidir. Simultane bilateral stimülasyon ile tek taraflı stimülasyon yöntemi ile gösteremediğimiz hemisferik lezyonları göstermemiz mümkün olabilmektedir. Mamafih simultane bilateral stimülasyon periferik iletim hızı iki tarafta eşit olduğu zaman uygulanabilmektedir. Fakat bilateral stimülasyon tek taraflı anormalliği gizlediği için lezyo-

nu lateralize etmemesi olanaksız hale getirir (1,2).

Kayıt elektrodlarının yerleşimi: Kullanılan elektrod çiftinden aktif olanı SEP dalgaların nöral jeneratörlerin yakınına konur. Referens elektrodu ise yakın-alan kayıtlama yönteminde aktif elektrodun birkaç cm. uzağa, uzak-alan kayıtlama yönteminde ise aktif elektrodun çok uzağa mesela dize konur. Stimülasyon ve kayıt elektrodları arasına toprak elektrod yerleştirilir. Toprak elektrod hem hastayı korur ve hem de stimulus artefaktı ile interferans artefaktlarını azaltır (1,3,5,6).

KOL STİMULASYONU İLE SEP

Stimülasyon ve kayıt yöntemleri açısından laboratuvarlar arasında büyük farklılıklar vardır (1-9). Günümüzde 4 kanallı avareger'ların yaygın olarak kullanılması nedeniyle somatosensori yol boyunca 3 veya 4 noktadan kayıt yapılabilmektedir. Bugün için yaygın olarak kullanılan teknikte median sinir stimülasyonu ile klavikular, servikal ve skalp elektrodlarından kayıtlar yapılmaktadır (Şekil 1). Kaydedilen SEP'ler, bireysel farklılıkların yanı sıra uygulanan stimülasyonun özellikleri ve kayıtlama parametrelerine göre de değişiklikler gösterir (Tablo 2) (1).

Klavikular SEP (Erb noktası potansiyeli): Klavikular SEP klavikulanın üzerinde sternokleidomastoid kasın klavikular başının 2-3 cm. üzerine konan elektrodun kaydedilir. Elektrod daha laterale konulduğunda daha büyük amplitüdü ve latans değeri çok az değişiklik gösteren SEP kaydına yol açar. Stimülasyonun uygulandığı tarafın karşısındaki klavikular elektrod referans elektrodu olarak kullanılabilir gibi referans elektrodu uluslararası 10-20 sistemine göre F_z (mid-frontal) ye de konabilir. F_z ye konduğu zaman klavikular elektrodun aldığı erken dalgaları takiben somatosensoriyel yolun santral kısmında oluşan geç dalgalar da kaydedilebilir (1).

Klavikular SEP büyük bir negatif dalgadan oluşur. Bu dalgadan önce ve sonra çok daha düşük amplitüdü pozitif dalgalar belirmektedir. Latans, tepe noktasından öl-

çülmektedir. Fakat çok daha seyrek olmak üzere negatif dalganın başlangıcı da ölçülebilir. Normal erişkinlerde median sinirin bilek seviyesinden uygulanması ile yaklaşık 9 msn, dijital sinir stimülasyonu ile 11 veya 12 msn sonra hastanın yaşına ve kol uzunluğuna bağlı olmak üzere negatif dalga ortaya çıkmaktadır (1).

Klavikular SEP için nöral jeneratör, brakial pleksustaki periferik sinir lifleridir. Duyusal sinir stimüle edildiğinde klavikular SEP, yalnızca somatosensori lifler tarafından oluşturulurken, miks bir sinir uyarıldığında somatosensori komponente kas afferentlerinin ortodromik akımı ile ve kas efferentlerinin antidromik akımı eklenmektedir (1).

Servikal SEP: Servikal Sep boyunda C₅ veya C₂ vertebra seviyesinden kaydedilir. Boyun kaidesinde en belirgin spinöz çıkıntı C₇ dir. Bunun 2 veya 5 spinöz çıkıntı üzerinden kayıt yapılır. Bazı laboratuvarlarda ise C₇ den kayıt yapılmaktadır. Referans elektrodu genellikle midfrontal bölgeye yerleştirilir (1-7).

Boyundan yapılan kayıtlarda en geniş ve en aşikâr komponent median sinir uyarımından yaklaşık 13 msn. sonra ortaya çıkan bu nedenle N13 olarak isimlendirilen negatif dalga ile bunun öncesinde ve sonrasında 9 msn, 11 msn ve 14 msn latanslı daha küçük amplitüdü negatif dalgalar ortaya çıkarken bunlar da N9, N11 ve N14 olarak isimlendirilir. Dijital sinirlerin uyarımı ile elde edilen bu negatif dalgaların latans değerleri daha uzundur. Bu latans değerleri kullanılan stimülasyon ve kayıt elektrodlarının lokalizasyonlarına bağlı olmak üzere laboratuvarlar arasında farklar göstermektedir (1).

Genel olarak bu bahsedilen dalgaların nöral jeneratörleri tam olarak açıklanmış değildir. Bununla beraber genel olarak kabul edilen görüş; N9 peak'inin aksilla ile spinal kord arasındaki periferik sinir liflerinin eksitasyonuna bağlı olduğudur. N11 ise servikal kord segmentlerine dorsal kök giriş zonu, dorsal boynuz gri cevher ve buna yakın dorsal kolon, N13 ve N14 se muhtemelen dorsal kolon ve nukleus kunea-

tus'dan kaynaklanmaktadır. Erken dalgalara beyin sapının ya hiç katkısı yoktur veya çok az katkısı bulunmaktadır. N13 ve N14 dalgalarının oluşumunda medial lemniskustan yukarı doğru çıkan impulsların da katkısı olabileceği sanılmaktadır (1,2).

Skalp SEP: Kol stimülasyonu ile karşı taraftaki C₃ ve C₄ elektrod pozisyonunun 2 cm. arkasında parietal skalp'a konulan elektrodan (C'₃ ve C'₄) kayıt yapılır. Parietal ile midfrontal elektrodlar arasında kayıt yapıldığında (buna yakın-alan skalp SEP adı verilir) birbirini izleyen dalgalar ortaya çıkar. Bunlar arasında klinik olarak en önemli olanı 20 msn sonra ortaya çıkan negatif dalgadır. N20 dalgasını 26 msn sonra ortaya çıkan bir pozitif dalga takip etmektedir. Bu N20 dalgası ve onu takip eden P26 dalgası, ortaya çıkan dalgaların oluşturduğu W harfi şeklindeki komplekslerin ilk yarısını oluşturmaktadır. W harfinin ikinci bölümünü ise N32 ve P42 oluşturmaktadır. Bu kompleksi daha yavaş olan diğer dalgalar 50-70 msn'lik negatif dalga, 80-90 msn'lik pozitif dalga 140-170 msn'lik ve 190-270 msn'lik ve 300 msn'lik dalgalar takip etmektedir. Dijital sinirler uyarıldığında kaydedilen dalgaların latansları 2-3 msn daha uzundur (1).

Daha sonra gelişen dalgaların korteks orijinli olduğu kabul edilmekte ise de N20 nin nöron jeneratörü konusunda tam bir fikir birliği mevcut değildir. Parietal korteks orijinli olduğunu düşündüren bulgular varsa da talamokortikal radyasyondan ve talamusun nukleus ventralis lateralisinden kaynaklandığını ileri sürenler de bulunmaktadır (6).

Frontal skalp ve korteksten kaydedilen dalgaların parietal skalpden kaydedilen dalgalardan bağımsız amplitüd ve latans değerleri göstermesi frontal ve parietal SEP'lerin birbirinden ayrı geliştiğini veya talamusdan birbirinden bağımsız kortikal input aldığı telkin etmektedir (1,6).

40-60 msn üzerindeki geç latanslar aynı taraftaki kortikal alanların aktivasyonu ile veya hemisferler arasındaki kallosal bağlantı ile ilgili olabilir.

Parietal Lob ile Kulak Arasında Kaydedilen SEP: Parietal elektrod ile kulak arasında kayıt yapıldığı zaman N20'den önce ortaya çıkan küçük potansiyelleri kaydedebiliriz. Bu potansiyeller subkortikal yapılardan orjin almaktadır. Median sinirin bilekten uyarılması ile 13-15 msn sonra ortaya çıkan pozitif P13/14 in esas olarak talamusa gelen lemniskal input'dan kaynaklandığı buna talamusun ventral posterolateral nukleusu ile talamokortikal liflerin outflow'unun da katkıda bulunduğu sanılmaktadır. Duyusal yolların değişik seviyelerini ilgilendiren lezyonu olan hastalarda yapılan kayıtlarla, insanlarda bu yapılardan elde edilen direkt kayıtlar bu görüşü desteklemektedir.

16-17 msn sonra ortaya çıkan negatif dalgaların da talamusdan veya talamokortikal radyasyondan geliştiği sanılmaktadır (1).

Skalp ile Nonsefalik Referans Elektrodu Arasında Kaydedilen Skalp SEP de 6 tane dalga kaydedilir. P9, P11, P13, P14, N20, P26 bunlardan ilk üç tanesi uzak-alan SEP'leri olup boyunda kaydedilen negatif peaklere tekabül etmektedir. P14 kulak ile parietal bölge arasında yapılan kayıtlardaki P13/14 tekabül eder. N20 ve P26 yakın-alan kayıtlar olup esas itibarıyla kortikal potansiyellerdir (1,6).

GENEL STRATEJİ

Kolda stimülasyon noktasından serebral kortekse kadar uzanan somatosensori yolun değişik segmentlerinin test edilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem, simultane olarak klavikular, servikal ve skalp elektrodlarından sırasıyla, N9, N13 ve N20 dalgaları kaydedilir. Bu dalgalar sırası ile brakial pleksus, üst spinal kord ve serebral korteks veya talamik afferentlerin eksitasyonunu gösterir. Bu çeşitli sürüktürler arasında gelişen lezyonlar kaydedilen dalgaların latanslarında gecikmeye neden olacaktır veya bu dalgalardan biri veya birkaçı kaybolacaktır. Somatosensori yolda üç segmentten hangisinde lezyon olduğunu karar verebilmemiz bu üç segmentteki iletimi değerlendirilerek müm-

kün olabilmektedir. Bu segmentler sırasıyla stimülasyon noktası ile brakial pleksus arası, brakial pleksus ile üst servikal kord arası, üst servikal kord ile somatosensory korteks (veya talamokortikal lifler) arasındadır. 1) Periferik sinir veya brakial pleksus lezyonunda bütün SEP dalgaları kaybolacaktır veya bütün SEP dalgalarında latans uzaması olacaktır. Erb noktasında kaydedilen N9 dalgasındaki latans gecikmesi periferik sinirin iletim hızını azaltacaktır. 2) Eğer lezyon servikal rootlar veya servikal kord seviyesinde ise klavikular SEP normal kalır, ancak servikal ve skalp SEP de latans uzaması veya dalga kaybı olur. Klavikular-servikal (N9-N13) interpeak latansları uzayacak ancak servikal-skalp (N13-N20) iletim zamanı normal kalacaktır. 3) Beyin sapında veya serebrumda lezyon varsa klavikular ve servikal SEP ler normaldir fakat skalp SEP kaydedilemez veya latans uzaması tespit edilir (1).

BACAK SINIRI STİMULASYONU İLE SEP

Posterior tibial sinir ayak bileğinden, peroneal sinir ise diz seviyesinden uyarılır ve lumbotorasik bölgeden ve skalpdan kayıt yapılır (Şekil 2 ve 3). Diğer periferik sinirler de uyarılabilir. Bacak sinirinin uyarılması ile aynen kol sinirinin uyarılmasında olduğu gibi SEP kayıtları kişisel farklılıklar, stimülasyon özellikleri ve kayıt parametrelerine göre değişiklikler gösterir (1).

Popliteal Fossa Potansiyeli: Posterior tibial sinir ayak bileğinden uyarılır ve kayıt popliteal fossa da medialde semitendinosus-semimembranosus kaslarının tendonu ve lateralde biceps femoris kasının tendonu arasına konan elektrodlardan yapılır. Referens elektrodu ise dizin medial yüzüne konur.

Popliteal fossa potansiyeli klavikular SEP gibi büyük bir negatif peakden ibaret olup bu negatif dalgadan önce ve sonra düşük amplitüdü pozitif dalgalar vardır. bu negatif dalganın peak latansı normal erişkinlerde 9-10 msn dir (Şekil 2).

Lomber ve Alt Torasik SEP: Kayıt elektrodları L₃, L₂, T₆ spinöz proseslerin

üzerine konur. Referens elektodu ise bu elektrodlardan herbirinin 4 cm. kadar üzerine konur. Fakat referens elektrodu iliak krista veya F_z noktasına da konabilir. Peroneal sinir uyarıldığında eğer 4 kanallı avareger kullanılacaksa her üç spinal elektrod çifti kullanılabilir. Fakat posterior tibial sinir uyarıldığında ise 2 çift spinal elektrod kullanılır. Diğer elektrodlar ise skalp ve popliteal fossa kayıtları için kullanılır (Şekil 2-3) (1).

Lomber SEP: Bazan küçük amplitüdü bir pozitif dalgayı izleyen negatif dalgadan meydana gelir. Bu negatif dalgadan sonra bunu izleyen ikinci bir negatif dalga belirir gözenir. Bu ikinci negatif dalga daha üst seviyeden yapılan kayıtlarda daha iyi kaydedilmektedir. Ortaya çıkan bu ilk negatif dalga posterior tibial sinir stimülasyonunda 17-21 msn dir (Şekil 2). Lomber dalgaların latans değerleri bacağın uzunluğuna, ısısına ve periferik iletim hızına bağlıdır. Peroneal sinir uyarıldığında ise ortaya çıkan negatif dalga latansı 9-12 msn dir (Şekil 3).

Küçük pozitif dalga ve ilk negatif dalga kauda equina dorsal köklerinden orijin aldığı sanılmaktadır. İkinci negatif dalga ise postsinaptik kord elemanlarından oluşmaktadır (1,2).

Skalp SEP: Aktif elektrod C_2 ve C_1 nin 2 cm. arkasına, referans elektodu F_pz ile F_z arasında orta hatta konur. Posterior tibial sinir uyarımı ile P37-N45 kompleksi, peroneal sinirin diz seviyesinden uyarıldığında ise P27-N35 olarak isimlendirilen dalgalar ortaya çıkar. Normal değerler boya ve diğer faktörlere göre büyük farklılıklar gösterir. Bazan ilk pozitif dalgadan önce küçük bir negatif potansiyel ortaya çıkabilir. Az önce bahsedilen erken pozitif-negatif kompleksleri daha fazla fark gösteren diğer dalgalar izlemektedir (2).

Skalp elektodu ile ekstrakraniyal referans elektodu arasında yapılan kayıtlarda daha önce ortaya çıkan küçük amplitüdü dalgalar subkortikal yapılardan orijin alan uzak-alan SEP'leridir.

GENEL STRATEJİ

Posterior tibial sinir stimülasyonunda üç noktadan kayıt yapılır: Popliteal fossa, Lumbotorasik bölge ve Skalp. Böylece üç segmentteki lezyonları tespit etmek olasıdır. 1) Periferik sinirin distal kısmını tutan lezyonda popliteal fossa ve daha sonraki SEP'lerde latans gecikmesi. 2) Periferik sinirin proksimal kısmı ve kauda equina'yı tutan lezyonlarda popliteal fossa potansiyeli sağlamdır fakat lumbotorasik ve skalp SEP'lerde latans uzaması vardır. 3) Spinal kord, beyin sapı veya serebral hemisferlerde lezyon olduğunda lumbor SEP normal olup skalp SEP'lerde gecikme gözlenir. Kommon peroneal sinir stimülasyonu ile lumbotorasik ile skalp SEP kayıtları yapılır ve yalnızca iki segmentteki lezyonlar gösterilir. 1) Periferik sinir proksimal kısmı ve kauda equina. 2) Spinal kord ve beyin sapı ile serebral hemisfer.

Lezyonlar ancak somatosensorye yolun spesifik bir parçasında yerleşmişse SEP anormalliğine neden olur. Bunlar sırasıyla periferik sinirler içersinde seyreden duysal lifler, pleksus, spinal rootlar, spinal kordun dorsal kolonu, beyin sapındaki ve diensefalonda medial lemniskus, talamusun ventral posterolateral nukleusu, talamokortikal radyasyon ve somatosensorye korteksin bacakla ilgili olan alanı.

Herhangi bir segmentte yerleşen lezyon daha proksimal yapılardan orijin alan potansiyellerin kaybına veya latans uzamasına yol açar. Latansdaki uzama segmentin uzunluğu ile ilgilidir. Bu bakımdan periferik ve santral iletim hızı olarak ifade edilmesinde yarar vardır. Periferik iletim hızı periferik sinirlerde bulunan hızlı ileten liflerin iletim hızına aşağı yukarı eşittir. Fakat santral iletim hızı farklıdır bunun nedeni de elde edilen değerlerin yalnızca aksonal kondüksiyonu değil fakat aynı zamanda sinaptik transmisyonu da ifade etmesindedir. Santral iletim zamanını değerlendirirken mesafeyi mutlaka dikkate almak gerekmektedir (1).

Kol stimülasyonunda santral iletim zamanı kısa, bacak stimülasyonunda santral iletim zamanı uzundur. Çünkü spinal

Tablo II. SEP Kayıtlarında Yöntem ve Teknik Parametreler**A) Kişisel farklılıklar**

- 1) Yaş: 8 yaşına kadar birkaç ayrı kontrol gurubunun çalışılması gerekir. Erişkin yaşlarda ayrı gurublara ihtiyaç olup olmadığı kesinlik kazanmadı.
- 2) Ekstremitte boyu: Stimulus ve kayıt elektrodları arasındaki mesafenin büyük bir dikkatle ölçülmesi gerekir. Bu, özellikle periferik iletim hızı tayini için çok önemlidir.
- 3) Isı: Tetkikin yapıldığı odanın ısı 22-24°C olmalıdır.
- 4) Duyusal rahatsızlıkları: Duyu kaybı varsa bunun dağılımı, derecesi ve tipi tarif edilmiştir.

B) Stimulasyon

- 1) Tipi: Sabit voltaj ve akımlı stimulator ile elektrik şokları
- 2) Elektrodlar: EEG disk veya iğne elektrodlar kullanılır. Elektrodlar arası impedans değerleri 10 kiloohm'dan az olmalı.
- 3) Elektrod yerleştirme: Stimulasyon elektrodu sinir trasesi üzerine ve katod proksimalde, anod distalde olacak şekilde yerleştirilir.
- 4) Frekansı: 4-7/saniye
- 5) Süresi: 0,2-0,3 msn.

C) Kayıt

- 1) Kanal sayısı 4 olmalı
- 2) Filtre seçimi: Düşük frekans filtresi 5-30 Hz, yüksek frekans filtresi 2500-4000 Hz olmalıdır.
- 3) Averajlanan cevap: Üst ekstremitede 500-2000, alt ekstremitte de 1000-4000.
- 4) Süpürme uzunluğu: Üst ekstremitte için 80, alt ekstremitte için 160 msn. olmalı.
- 5) Analizler
 - a) Normal dalgaların kaydedilmemesi
 - b) Periferik iletim hızı yavaşlaması
 - c) Dalgalar arası latans uzaması
 - d) Şüphe ile karşılanması gereken kriter: Herbir tarafın uyarımı ile anormal latans ve anormal amplitüd farkları.

kordun alt segmenti ile verteks arasındaki mesafe uzundur. Bu uzunluk kişinin boyu ile ilgilidir (1,3-7).

Lezyon seviyesinin hem kol ve hem de bacak sinirinin uyarılması sonucu elde edilen SEP kayıtlarına bakarak değerlendirilebiliriz. Şöyleki üst servikal kord lezyonlarında hem kol hem bacak SEP kayıtları anormaldir. Oysa lezyon servikal bölgenin altında ise kol SEP'i normal kalırken bacak SEP'inde latans uzaması gözlenir.

SEP KAYITLARINDA YÖNTEM ve TEKNİK PARAMETRELER (Tablo II)

KİŞİSEL FARKLAR

YAŞ: Prematurite'den erişkin yaşa ge-

çiş: 24 haftalık prematür bebeklerde median sinir uyarımı ile 200 msn üzerinde geniş bir negatif dalga kaydedilir. Yaşın ilerlemesi ile bu dalganın amplitüdü azalır ve daha erken dalgalar belirmeye başlar. Skalp SEP önce primer duyu korteksi üzerinde daha sonra frontal assosiyasyon alanları üzerinde kaydedilmeye başlanır. SEP 3 yaş ile 10 yaş arasında erişkinlerde kaydedilen form ve latans değerlerine ulaşır. Santral iletim hızı doğumda 10 m/sn iken erişkin değeri olan 50 m/sn değerine 8 yaşında ulaşır. Buna karşıt olmak üzere periferik iletim hızı maturasyonu daha hızlı olup doğumda 20-35 m/sn olan değerler 3 yaş civarında erişkin değerlerine (60 m/sn) ulaşmaktadır.

Erişkin Yaştan Yaşlılığa Geçişte: Yaşlanmadan en az etkilenen EP'ler SEP'dir. Yaşlı insanlarda bütün kortikal tepe latans değerleri hafifçe daha uzundur. Tepe latanslarındaki uzama periferik sinirlerdeki iletim hızındaki yavaşlama ile ilgilidir. Erişkin yaşlarda iletim hızındaki yavaşlama yılda 0.16 m/sn'dir. Santral iletim zamanı 60 yaşına kadar çok az bir değişiklik gösterirken, 60 yaşdan sonra aniden artar. Servikal SEP amplitüdü 40 yaşından sonra progressif olarak azalır. Parietal SEP amplitüdü yaş arttıkça artmakta ve W harfi şeklinde ki konfigurasyon belirgin hale gelmektedir (8).

CİNSİYET: Uyarılmış potansiyel latanslarının erkeklerde kadınlara kıyasla daha uzun olduğu bazı çalışmalarda ortaya konmuşsa da boy farkı dikkate alındığında bu latans farklılıkları kaybolmaktadır. Bu nedenle laboratuvarların çoğunda iki ayrı cins için hazırlanmış normal kontrol değerleri yoktur.

EKSTREMİTE UZUNLUĞU: İletim hızını hesaplamak için stimülasyon elektrodu ile kayıt elektrodu arasındaki mesafenin doğru ölçülmesi gerekir (1).

EKSTREMİTE ISISI: Uyarılan ekstremitenin sıcak tutulması gereklidir. Oda ısısı 20-22°C arasında olmalı ekstremitenin üzeri gerekirse sıcak petlerle örtülmelidir (1).

STİMULUS ÖZELLİKLERİ:

Stimülasyon Elektrodun Yerleştirilmesi: Median sinir bilek seviyesinde uyarılır. Katod bilekte palmaris longus ile fleksör carpi radialis kaslarına ait tendonların arasına ve anoddan 2-3 cm. daha proksimale yerleştirilir. Toprak elektrod ön kola yerleştirilir. Gerekli durumlarda ulnar sinir veya radial sinir bilek seviyesinde sinir trasesine uygun yerlere yerleştirilerek uyarılabilir. Ayrıca median sinire ait digital sinirler 2. veya 3. parmakta interfalangeal eklemlerin distaline yerleştirilen yüzük elektrodlarla, ulnar sinire ait duysal lifler 5. parmağa yerleştirilen yüzük elektrodlarla uyarılabilir. Ayrıca ra-

dial sinirin superfisyel bransı bileğin dorsal yüzünün radial kısmı uyarılarak ve muskulokuteneal sinirin kuteneal dalı ise kubital çizginin lateral parçasından 2 parmak aşağıda uyararak kayıtlar yapılabilir (1-6). Posterior tibial sinir için stimülasyon elektrodu aşil tendonunun medial sınırı ile medial malleolusun arka sınırı arasına ve katod proksimalde anod distalde ve aralarındaki mesafe 3 cm. olacak şekilde yerleştirilir.

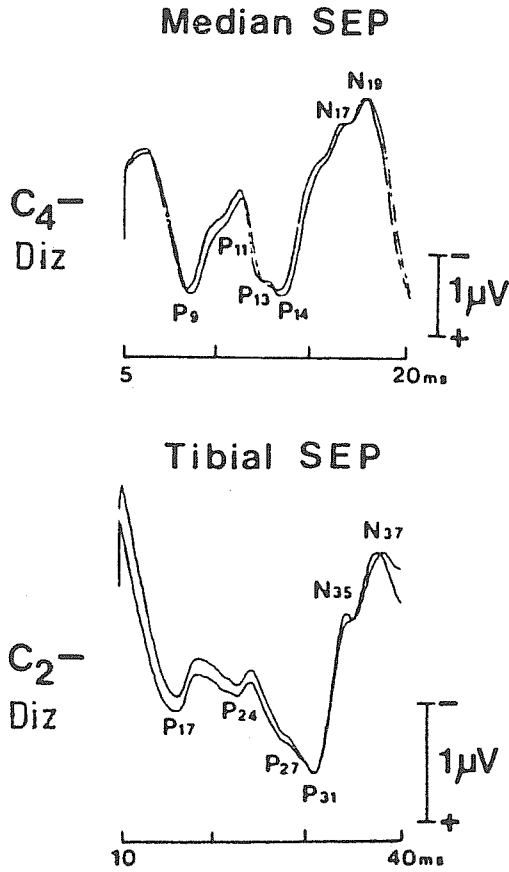
Kommon peroneal sinir diz seviyesinde, saf duysal lifler içeren sural sinir lateral malleol'dan, saphenous sinir medial malleolun ön-üst kısmından uyarılmaktadır.

L₂ ile S₁ arasındaki segmental input değişik sinir branşlarının uyarılması ile test edilebilir. Örnek olarak L₂ uyluktan lateral femoral kuteneal sinir uyarımı ile, L₃ dizin medial tarafından saphenous siniri uyarmakla, L₄ aynı siniri iç malleoldan uyarmakla, L₅ peroneal sinirin bacağın lateral kısmından uyarılması ile S₁ sural sinirin lateral malleol seviyesinden uyarımı ile test edilir (1,3-7).

Stimulus Şiddeti, Süresi ve Frekansı: Mikst sinir stimülasyonunda stimulus şiddeti motor eşik değerinin üzerinde olmalıdır. Median sinir için başparmakta gözle görülür bir abduksiyon yaratacak şekilde Posterior tibial sinir uyarımı ile ayak parmaklarında plantar fleksiyon gözlenmesi, aynı şekilde kommon peroneal sinirin uyarılması ile ayakta dorsal fleksiyon ve eversiyon gözlenmesi bu sinirler için motor eşik değerleridir. Stimülasyon şiddetinde değişiklik yaptığımız zaman latans değerlerinde belirgin fark olmamakta ancak düşük stimülasyon şiddetinde dalgalanır amplitüdü düşük olmaktadır. Genel olarak uzun latanslı SEP'lerin eşik değeri yüksektir (1).

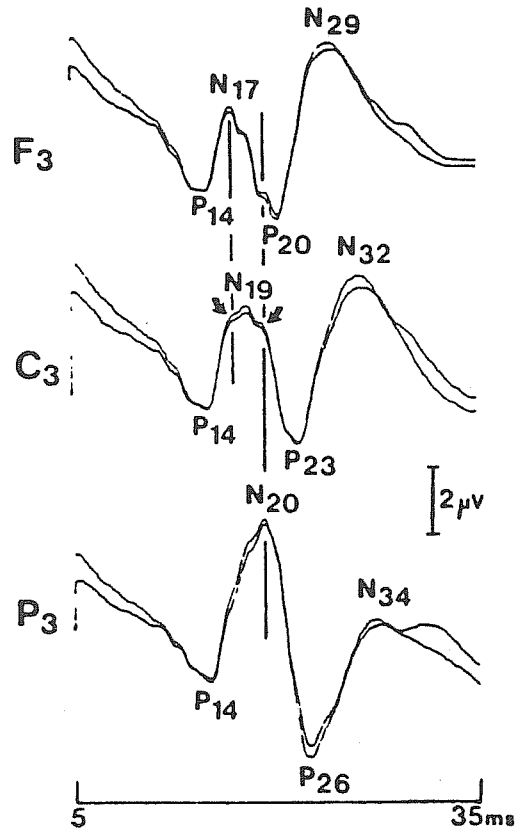
Stimülasyon frekansı 4-7/sn ve stimülasyon süresi 200-300 µsn olmalıdır (1).

Averajlanan Cevap Sayısı: Median sinir bilek seviyesinde uyarıldığında yaklaşık olarak 500-2000 cevap, posterior tibial ve peroneal sinir için 1000-4000 cevap avarajlanır. Dermatomların stimülasyonunda daha fazla sayıda cevabın avarajlanması gerekir.



Şekil 4. Median ve tibial sinir uyarımı ile skalp den kaydedilen SEP potansiyelleri. Referans elektrodu nonsefalik olup dize konmuştur. Yani bu bir uzak-alan kayıtlamadır. Hem median ve hem de tibial sinir uyarımı ile ortaya çıkan ilk dört pozitif dalga ve bunu izleyen iki negatif dalgalar stimulyondan 20 ve 40 msn sora ortaya çıkmıştır.

UZAK ALAN SEP KAYITLAMA YÖNTEMİ ile median sinir uyarımı ile skalp den kaydedilen SEP kayıtlarında P₉, P₁₁, P₁₃ ve P₁₄, tibial sinir uyarımı ile skalpden kaydedilen P₁₇, P₂₄, P₂₇ ve P₃₁ dalgalarının analogudur. Bunlardan P₉ ve



Şekil 5. Sağ median sinir stimulyonundan sonra sol parasagittal elektrodlerden kaydedilen SEP dalgaları. P₁₄ dalgasından sonra ortaya çıkan dalgalar frontalde N₁₇-P₂₀-N₂₉, sentralde N₁₉-P₂₃-N₃₂ ve parietalde N₂₀-P₂₆-N₃₄.

P₁₇ dalgaları sırasıyla brakial pleksus ve sakral pleksusdan, P₁₁ servikal spinal kord giriş zonu ve P₂₄ konus medullaris'e duyuşal impuls girişine, P₁₃ ve P₂₇ dorsal kolon nukleusları, P₁₄ ve P₃₁ beyin sapı (medial lemniskus), N₁₇ ve N₁₉ ile N₃₅-N₃₇

talamik ve kortikal deşerjlerden orijin almaktadır (Şekil 4) (10).

SEP'in Topografik Analizi:

İnternasyonal 10-20 sistemine göre skalp'e (saçlı deri) yerleştirilen elektrodlerden yapılan kayıtlarda elektrodun lokalizasyonuna bağılı olmak üzere peak latansları farklıdır. P14 dalgasından sonra ortaya çıkan negatif-pozitif-negatif peaklerin latans değerleri frontal'dan parietale doğru değişiklik gösterir. Frontalde N17-P20-N29, sentralde N19-P23-N32 ve parietalde N20-P26-N34 dalgaları kaydedilir (Şekil 5). Son iki dalga olan P40-N60 dalgaların latansında bu topografik farklılıklar yoktur. Fakat bu dalgaların en iyi şekilde kaydedildiği bölge santral bölgedir (2).

Geliş Tarihi: 25.8.1993

Yayına Kabul Tarihi: 26.10.1993

KAYNAKLAR

1. Spehlmann R. Evoked Potential Primer: Visual, Auditory and Somatosensory Evoked Potentials in Clinical Diagnosis. Butterworth Publishers 1988.
2. Cracco RQ, Wollner IB (eds) Frontiers of clinical Neuroscience Allan R. Liss inc. Newyork 1986.
3. Eisen A, Aminoff MJ. Somatosensory Evoked Potentials. In Aminoff MJ (ed) Electrodiagnosis in Clinical Neurology. Second edition. New York. Churchill Livingstone Publ. 1986; 535-563.
4. Regan D. Clinical Applications. Human Brain Electrophysiology: Evoked Potentials and Evoked Magnetic Fields in Science and Medicine. Elsevier Publ. Third edition 1988; 498-507.
5. Erwin CW et al. Somatosensory Evoked Potentials. In Niedermeyer E, Lopes da Silva F (eds) Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields Second edition. Baltimore Munich, 1987; 817-825.
6. Chiappa KH, Ropper AH. Evoked Potentials in Clinical Medicine. The New England Journal of Medicine. 1982; 13: 1205-1211.
7. Desmedt JE. Somatosensory cerebral evoked potentials in man. In: Aremond (ed) Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Vol 9. Elsevier, Amsterdam, 1971; 55-62.
8. Cracco JB, Cracco RQ and Graziani LJ. The spinal evoked response in infants and children. Neurology (Minneapolis) 25: 31-35, 1975.
9. Kimura J. Electrodiagnosis in diseases of Nerve and Muscle: Principles and Practice. Second edition. FA Davis, Philadelphia, 1989.
10. Cracco RQ and Cracco JB. Somatosensory evoked potential in man: Far-field potentials. Electroenceph Clin Neurophysiol 41: 460-466, 1976.