

T.C
GAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
FİZİKSEL TIP VE REHABİLİTASYON
ANABİLİM DALI

SPİNAL STENoz CERRAHİSİNDE İNTRAOPERATİF
NÖROFİZYOLOJİK MONİTORİZASYON

UZMANLIK TEZİ
Dr. NURDAN ORUÇOĞLU

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. MEHMET BEYAZOVA

EYLÜL-2010
ANKARA

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Dr. Nurdan Oruçoğlu

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam sırasında değerli bilgileri ile bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet Beyazova'ya,

Uzmanlık eğitimim boyunca yetişmemde değerli katkıları olan Prof. Dr. Vesile Sepici, Prof. Dr. Fatma Atalay, Prof. Dr. Nihal Taş, Prof. Dr. Jale Meray, Prof. Dr. Nesrin Demirsoy, Prof. Dr. Belgin Karaoğlu, Prof. Dr. Gülçin Kaymak Karataş, Doç. Dr. Feride Göğüş, Yrd. Doç. Dr. Murat Zinnuroğlu, Yrd. Doç. Dr. Zafer Günendi ve öğretim görevlisi Dr. Özden Özyemişçi Taşkiran'a,

Bu çalışma için verdikleri büyük desteklerinden ve ameliyathanede gösterdikleri sonsuz hoşgörülerinden dolayı Prof. Dr. Kadir Kaya, Prof. Dr. Necdet Çeviker, Prof. Dr. Necdet Altun, Doç. Dr. Alparslan Şenköylü ve Yrd. Doç. Dr. Murat Zinnuroğlu'na,

Operasyonlar sırasında uyumlu bir ekip çalışması ve işbirliği sağlayan beyin cerrahisi, ortopedi, anestezi ekiplerine ve intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyonda yer alan asistan arkadaşlarıma,

Uzmanlık eğitimim sırasında yanımda olan, dostluk ve desteğini esirgemeyen başta Dr. Zühre Sarı Sürmeli, Dr. Zeynep Erdoğan ve Dr. Ayça Utkan Karasu olmak üzere tüm arkadaşlarıma ve personelimize,

Uzun öğrenim yaşamımda her zaman yanımda olan sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Nurdan Oruçoğlu

KISALTMALAR

ACh: Asetilkolin

BKAP: Birleşik kas aksiyon potansiyeli

BKR: Bulbokavernöz refleks

BT: Bilgisayarlı tomografi

cm: Santimetre

DSUP: Dermatomal somatosensoriyel uyartılmış potansiyel

EMG: Elektromiyografi

Hz: Hertz

İONM: İntraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon

LSS: Lomber spinal stenoz

mA: Miliamper

mm: Milimetre

msn: Milisaniye

MİONM: Multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon

MR: Manyetik rezonans

MUP: Motor uyartılmış potansiyel

MÜP: Motor ünite potansiyeli

NK: Nörojenik klodikasyo

NM: Nöromüsküler

OPLL: Ossifiye posterior longitudinal ligaman

SUP: Somatosensoriyel uyartılmış potansiyel

TİVA: Total intravenöz anestezi

TkMUP: Transkranial motor uyartılmış potansiyel

TOF: Train-of-four

V: Volt

SPİNAL STENÖZ CERRAHİSİNDE İNTRAOPERATİF NÖROFİZYOLOJİK MONİTORİZASYON

(Uzmanlık Tezi)

Nurdan Oruçoğlu

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet Beyazova

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ FİZİKSEL TIP VE
REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI**

ÖZET

Omurgadaki dejeneratif değişiklikler, nöral yapıları sıkıştırarak spinal stenoza neden olabilmektedir. Spinal stenozun cerrahi dekompresyonu sırasında nörolojik defisit gelişme oranı %1 ile %33 arasında bildirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı spinal stenoz cerrahisine bağlı olarak gelişebilecek spinal kord veya sinir kökü hasarını operasyon sırasında tespit ederek önlemeye çalışmak ve multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon yönteminin spinal stenoz cerrahisindeki etkinliğini değerlendirmektir.

Servikal veya lomber spinal stenoz tanısıyla cerrahi girişim yapılan 14 hastaya intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon uygulandı.

Motor uyarılmış potansiyel uyarımı, tirbuşon elektrotlarla kafa derisi üzerinden sol kortikal bölge için M3'-Mz6, sağ için M4'-Mz6 elektrot montajları kullanılarak yapıldı. Uyarı süresi 1 msn olan 5'li tren

şeklinde dalgalar kullanıldı. Kayıtlar ilgili kaslardan iğne elektrotlarla elde edildi.

Somatosensoriyel uyartılmış potansiyel kayıtları tibial ve median/ulnar sinir uyarılarak, alt ekstremité için Cz'-FPz ve inion-FPz, üst ekstremité için C3'-FPz ve C4'-FPz montajı ile kafa derisinden tirbuşon elektrotlarla yapıldı. İzlemede kontrol sağlamak amacıyla dört ekstremité motor ve somatosensoriyel uyartılmış potansiyel kayıtları kullanıldı. İzlem; anesteziden hemen sonra kaydedilen bazal değerlere göre yapıldı.

Operasyon süresince alınan yanıtlarda amplitütte %50'den fazla azalma veya yanıtların ani kaybı anlamlı kabul edildi.

İntraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon yapılan spinal stenozlu 14 hastanın 1'inde izlem yapılamazken, izlemin gerçekleştirilebildiği 13 hastanın 1'i gerçek pozitif, 12'si ise gerçek negatif (%92,3) olarak değerlendirildi. Hastaların hiçbirinde yeni gelişen postoperatif nörolojik defisit izlenmedi.

Multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon, spinal stenoz cerrahileri sırasında kalıcı nörolojik hasar gelişiminin önlenmesine ve hastaların fonksiyonel durumunun ve yaşam kalitesinin korunmasına yardımcı olabilir. Daha çok sayıda uygulama ile bu alandaki deneyimin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Anahtar Sözcükler: Spinal stenoz, Multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon

INTRAOPERATIVE NEUROPHYSIOLOGICAL MONITORING DURING SPINAL STENOSIS SURGERY

(Thesis)

Dr. Nurdan Oruçoğlu

Adviser

Prof. Dr. Mehmet Beyazova

GAZI UNIVERSITY FACULTY OF MEDICINE

PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION DEPARTMENT

ABSTRACT

Spinal stenosis due to degenerative changes may damage neural structures. Neurological deficits during surgical decompression of spinal stenosis have been reported within a rate of 1-33%.

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of multimodal intraoperative neurophysiological monitoring (MIONM) in detecting and preventing impending injuries to the spinal cord or nerve roots.

MIONM was performed in 14 patients with spinal stenosis.

Motor evoked potentials were stimulated transcranially via corkscrew electrodes with M3'-Mz6 and M4'-Mz6 electrode montages. A train-of-five pulse with duration of 1 msec was used. Recordings were obtained from related muscles with needle electrodes.

Bilateral tibial and median (or occasionally ulnar) nerves were stimulated successively and somatosensory evoked potentials were recorded via corkscrew electrodes mounted at Cz'-FPz, inion-FPz for lower and C3'-FPz, C4'-FPz for upper extremities.

Monitoring was performed with respect to basal measurements recorded following the induction of anesthesia. Complete loss or more than 50% decrement in the amplitudes of the potentials was accepted as significant.

Monitorization could not be achieved in one patient. Among the 13 monitorized patients, one was accepted as true positive and 12 as true negative (%92,3). Postoperative neurological deficits did not occur in any of the patients.

MIONM is an important means of preventing permanent neurological deficits and ensuring conservation of function and quality of life. More practice is necessary to gain experience in this area.

Key Words: Spinal stenosis, Multimodal intraoperative neurophysiological monitoring

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Verbiest'in spinal stenoz sınıflaması.....	10
Tablo 2.2. Omurga kanalında daralmaya neden olan nadir etkenler.....	10
Tablo 2.3. SUP değişim paternlerine göre nöral hasarın lokalizasyonu.....	33
Tablo 2.4. Spinal sinir kökleri için elektromiyografik kas kayıt noktaları.....	55
Tablo 2.5. Anestezik ajanların MUP yanıtları üzerindeki değişik derecelerdeki inhibitör etkileri.....	60
Tablo 4.1. MİONM uygulanan 14 hastanın genel özellikleri ve elde edilen sonuçlar.....	75

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Spinal ligamanlar.....	6
Resim 2.2. Vertebral kanalın sagittal ve transvers plandaki bölge ve seviyeleri.....	8
Resim 2.3. Spinal stenozda sinir basısına neden olan faktörler.....	13
Resim 2.4. Periferik sinir uyarımı ile elde edilen SUP yanıtları.....	25
Resim 2.5. SUP'lar için kullanılan elektrot montaj noktaları.....	28
Resim 2.6. Posterior tibial sinir uyarımı ile elde edilen kortikal, lomber ve periferik potansiyeller.....	29
Resim 2.7. Median sinir uyarımı ile elde edilen kortikal, servikal, Erb ve periferik potansiyeller.....	29
Resim 2.8. Motor korteks uyarımı ile elde edilen spinal kord ve kas kayıtlı motor uyartılmış potansiyeller.....	37
Resim 2.9. Spinal D dalgası kayıt örneği.....	40
Resim 2.10. Değişik derecelerdeki sürekli EMG aktivitesi.....	51
Resim 3.1. MUP uyarımı ve SUP kaydı için saçlı deriye tirbuşon elektrotların yerleşimi.....	69
Resim 3.2. Kas MUP ve sürekli EMG kaydı için abduktör hallusis kasına yerleştirilen iğne ve yüzeysel elektrotlar.....	70
Resim 3.3. Ulnar ve posterior tibial sinir SUP uyarıcı elektrotlarının yerleşimi.....	71
Resim 3.4. Somatosensoryel ve motor uyartılmış potansiyel kayıtları için elektrot montaj şeması.....	72
Resim 4.1. Operasyon süresince yanıtlarda değişimin izlenmediği motor uyartılmış potansiyel kayıt örneği.....	76
Resim 4.2. Operasyon süresince yanıtlarda değişimin izlenmediği somatosensoryel uyartılmış potansiyel kayıt örneği.....	76
Resim 4.3. Posterior tibial sinir F-yanıtı kayıt örneği.....	77
Resim 4.4. 3 numaralı hastanın bazal ve cerrahi sırasındaki SUP kayıtları.....	78
Resim 4.5. 3 numaralı hastanın bazal MUP yanıtları.....	79
Resim 4.6. 3 numaralı hastadan cerrahi dekompresyon sırasında elde edilen MUP yanıtları.....	80

2.3.5.5. Uyarı parametreleri.....	42
2.3.5.6. Filtre ve ekran ayarları.....	44
2.3.5.7. MUP komplikasyonları.....	46
2.3.5.8. MUP kontrendikasyonları.....	48
2.3.6. Pedikül vidası yerleşimi sırasında tetiklenmiş EMG monitorizasyonu.....	48
2.3.7. Sürekli EMG kaydı ile sinir kökü monitorizasyonu.....	50
2.3.8. F-yanıtı, H refleksi, Bulbokavernöz refleks.....	53
2.3.9. Kasların seçimi.....	54
2.3.10. İONM'de artefakt nedenleri.....	55
2.3.11. Hasta güvenliğinin sağlanması.....	56
2.3.12. Alarm kriterleri.....	56
2.3.13. İntraoperatif monitorizasyonu etkileyen fizyolojik ve sistemik faktörler.....	58
2.3.14. Anestezi yaklaşımı.....	59
2.3.15. Teknik faktörler.....	65
2.3.16. Risk altındaki spinal kord ve sonuçların yorumlanması.....	65
2.3.17. Monitorizasyon kayıtları.....	66
2.3.18. Omurga cerrahisinde MİONM'un maliyet-etkinliği.....	67
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	68
4. BULGULAR.....	74
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	82
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	98

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Spinal stenoz, kemik veya çevre yumuşak dokulardan kaynaklanan basıya bağlı olarak gelişen spinal kanal, lateral kanal veya nöral foramenin daralması olarak tanımlanır [1]. Bu daralma nöral ve vasküler yapıların basısına neden olarak pek çok semptoma yol açar.

Ağrı ve özürlülüğün en sık sebeplerinden biri olan servikal ve lomber spinal stenoz, özellikle yaşlı hastalarda 1. sıradaki spinal cerrahi nedenidir [2, 3, 4, 5]. Yaşam süresindeki artışın ve hayat kalitesini yükseltme hedefinin sonucu olarak günümüzde dejeneratif spinal stenoz sıklığı fazlalaşmış ve hastalık ile ilgili farkındalık artmıştır [6]. Framingham çalışması sonuçlarına göre 60-69 yaşlar arasında rölatif lomber spinal stenoz (LSS) (spinal kanal çapı <12 mm) ve mutlak LSS (<10 mm) prevalansı sırasıyla % 47,2 ve % 19,4 olarak hesaplanmıştır [2].

Genel olarak cerrahi tedavilerin, cerrahi olmayan tedavilere göre daha fazla miktarda ağrıda azalma ve fonksiyonel iyileşme sağladığı gözlenmiştir.

Spinal stenoz cerrahisinde uygulanan dekompresif laminektomiye bağlı nörolojik komplikasyon gelişme oranının %1 ile %33 arasında olduğu bildirilmektedir [4].

Nörolojik hasar meydana geldiğinde hastanın fonksiyonel kayıplarının yanında topluma getirdiği ekonomik yük de oldukça büyüktür. Bu sebeple; cerrahiye bağlı gelişebilecek nörolojik hasarların operasyon sırasında önlenmesine yönelik çabaların, tedavi etmekten genellikle çok daha az maliyetli olması beklenir.

İntraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon (İONM), sinir sistemini ilgilendiren pek çok cerrahi alanında kullanılan bir izlem yöntemidir [7]. Bunlardan biri olan vertebral kolon cerrahilerinde spinal kord, sinir kökleri, brakial pleksus ve periferik sinirlerde cerrahiye bağlı nörolojik yaralanma riski bulunmaktadır. Spinal cerrahinin en çok korkulan nörolojik komplikasyonu olan parapleji ise monitorizasyon için oldukça güçlü bir motivasyona neden olmaktadır. Bu sebeple vertebra cerrahisi intraoperatif monitorizasyonun en sık olarak uygulandığı cerrahi prosedürü oluşturmaktadır.

Bu cerrahi prosedürü monitorizasyon için ideal kılan 2 temel özellik: hastaların büyük çoğunluğunun monitorize edilebilir olması ve en sık hasar mekanizmaları olan iskemi, kompresyon ve traksiyonun hızlı olarak tespit edildiğinde geri döndürülebilmesidir [8].

İONM, spinal kordun fonksiyonel bütünlüğünü değerlendirmeyi sağlar ve gelişebilecek hasarları önlemeye yardımcı olur. Somatosensoriyel uyartılmış potansiyel (SUP) izlemi, global kord iskemisini veya duysal yolların hasarını başarıyla tespit edebilirken, motor yolların izole iskemisi veya hasarının tespitinde başarısız kalabilir. Motor uyartılmış potansiyeller (MUP) ise motor yolların bütünlüğünde meydana gelen değişikliklerin tespitinde SUP'tan daha hassas bir yöntemdir [9].

Multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon (MİONM) yöntemi; duysal ve motor yolların birlikte görüntülenmesini sağlar ve cerrahi sırasında nöral yapıların geri dönüşümsüz olabilecek hasarlarının erken aşamada saptanarak önlenmesini hedefler. Hasarın varlığında ise etiyolojiyi ve lokalizasyonu doğru olarak belirlemeye yardımcı olur [7].

Bu tez çalışmasının amacı spinal stenoz cerrahisine bağlı olarak gelişebilecek spinal kord veya sinir kökü hasarını operasyon sırasında tespit ederek önlemeye çalışmak ve multimodal yöntemle uygulanan intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon yönteminin spinal stenoz cerrahisindeki etkinliğini değerlendirmektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Anatomi

2.1.1. Vertebral kolon anatomisi

Vertebral kolon 7 servikal, 12 torakal, 5 lomber, 5 sakral ve 4 koksigeal vertebra olmak üzere toplam 33 vertebradan ve aralarındaki intervertebral disklerden oluşur [10].

Her bir vertebral segment, fonksiyonel birim denilen iki ardışık vertebra ile birlikte bir intervertebral disk ve iki faset eklemini içeren üç eklem kompleksinden oluşur.

Vertebral kolonu oluşturan yapılar ön ve arka elemanlar olarak 2 kısıma ayrılır. Ön elemanlar vertebra cismi ve disklerden oluşurken, arka elemanlar ise lamina, üst ve alt artiküler çıkıntı ve spinöz çıkıntılardan oluşur. Nöral arkın kemik kısmını oluşturan pediküller ise ön ve arka elemanları birbirine bağlar [11].

Her vertebra cismi sağ ve solda iki tane olmak üzere transvers çıkıntıya doğru posterolateral yönde uzanan iki pediküle sahiptir. Sağ ve sol transvers çıkıntıdan posteromedial olarak uzanan laminalar ise spinöz çıkıntıda birleşirler [8].

İntervertebral foramenin ön duvarını vertebra cismi ve disklerin posterolateral kısmı, arka duvarını faset eklemleri oluşturur. Foramenin tavan ve taban kısmını ise pediküller yapar.

İntervertebral diskler santralde nükleus pulposus ve etrafındaki anulus fibrozustan oluşur. Omurga fleksibilitesini sağlayan diskler aynı zamanda yükü dağıtır ve şok emici özellik gösterir. Yaşla beraber diskin su içeriği azaldığından diskte yükseklik kaybı meydana gelir [10].

2.1.2. Spinal kord anatomisi

İstemli hareket için önemli olan kortikospinal yollar korteksten aşağıya doğru iner, medulla alt kısmında çapraz yaparak karşı tarafa geçer ve karşı tarafta dorsolateral kord boyunca aşağı doğru seyreder. Birkaç kortikospinal lif ise çapraz yapmadan aynı taraf ventral kord boyunca aşağıya iner. Ön

boynuz gri cevher alfa motor nöronlarında eksitator sinapslar oluşur. Her spinal kord segmentinden gelen alfa motor nöron aksonları motor kökleri oluşturmak üzere birleşirler [8].

Beyin sapının devamı olan spinal kord, foramen magnumdan başlar ve genellikle spinal kanal içinde L1-L2 vertebra hizasında sonlanır. Konus medullaris olarak adlandırılan alt ucu, işeme ve defekasyon merkezlerini içerir. Lumbosakral sinir kökleri spinal kanalda aşağı doğru seyreder ve kauda equina olarak adlandırılır.

Sinir kökleri spinal kanalı intervertebral foramenler aracılığı ile terk eder. Sekiz servikal sinir kökünden ilk 7 tanesi aynı isimli vertebranın hemen üstündeki intervertebral foramenden çıkarken, 8. servikal sinir kökü ise C7 ve T1 arasındaki foramenden çıkar. Torakal, lomber ve sakral sinir kökleri ise aynı isimli vertebranın altındaki intervertebral foramenden çıkarlar [8, 10].

Spinal kord ile vertebral kolon arasındaki mevcut uzunluk farkından dolayı servikal ve üst torakal sinir kökleri korddan dik açı ile ayrılırken alt torakal, lomber ve sakral kökler ise korddan oblik açı ile ayrılırlar [12].

Dorsal ve ventral sinir kökleri intervertebral foramen içinde birleşerek sinir köklerini oluşturur. Foramenden çıkarken sinir kökleri anterior ve posterior primer ramus olarak ikiye ayrılır [13]. Anterior primer ramuslar; servikal ve lumbosakral bölgede, brakial ve lumbosakral pleksusları oluşturmak üzere karmaşık bir şekilde birleşirler ve kasları innerve eden çeşitli periferik sinirleri oluşturmak üzere tekrar dallanırlar. Bunun sonucu olarak kas innervasyonlarındaki radiküler üst üste gelme ve anatomik varyasyonlar meydana gelir [8].

Anterior ramusun sinuvertebral dalı foramen içerisine girerek posterior longitudinal ligamanı ve anulusun arka kısmını innerve eder.

Posterior ramusun artiküler dalları ise vertebra cisminin arka kısmı ve faset eklemleri innerve eder [13].

2.1.3. Spinal dolařım

Arteriyel dolaşım: Spinal kordun kanlanması bir anterior spinal ve iki posterior spinal arter ile segmental radiküler arterler tarafından sağlanır. Anterior spinal arter vertebral arterlerden ayrılan dalların birleşmesi ile oluşur ve spinal kordun 2/3 ön kısmını besler.

Posterior spinal arterler ise medulla seviyesinde vertebral arter veya posteroinferior serebellar arterlerden çıkan dallardan meydana gelirler ve spinal kordun arka 1/3'ünün beslenmesini sağlarlar. Aorta ve dallarından ayrılan segmental arterler posterior ve anterior spinal arterlere destek sağlar. Vertebra cismi, arka elemanlar ve paraspinal kasları besler. Radiküler ve segmental meduller dallarına ayılır. Radiküler arterler sinir köklerini beslerken, segmental meduller dallar spinal kordun beslenmesine yardımcı olurlar [11, 13, 14].

Venöz dolaşım: Spinal kanal içindeki anterior ve posterior internal venöz pleksuslar lomber venlere, lomber venler ise vena cava inferiora dökölür. Sinir kökü yakınında bulunan radiküler venlerin anterior internal venöz pleksusa döküldüğü yerde ilkel kapak sistemi bulunur. Bu kapaklar hipertansiyon, yer kaplayan oluşum veya egzersiz sonrası alt ekstremitelerden venöz dönüşün artışına bağlı konjesyon meydana geldiğinde kanın drene olmasını engeller. Buna sekonder gelişen radiküler ven konjesyonu ise basıncın artmasına ve sinir kökünün iskemisine yol açar [15].

2.1.4. Ligamanlar

Ligamanlar, vertebral kolon stabilitesini artırır (Resim 2.1).

Anterior longitudinal ligaman: Atlasın tüberkülünden başlayıp sakruma kadar devam eden bu ligaman vertebra cisminin son plakları ve intervertebral disklerin ön yüzüne yapışır. Vertebral kolonun aşırı ekstansiyonunu önler.

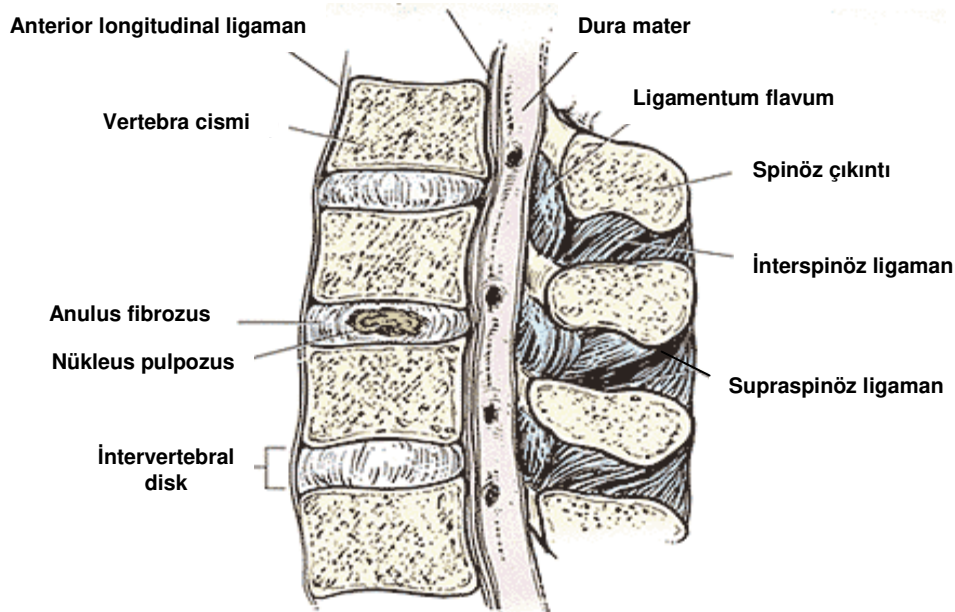
Posterior longitudinal ligaman: Spinal kanal içinde aksisten sakruma kadar uzanır, vertebral cisim ve disklerin arka yüzlerine yapışır. Lomber bölgeye doğru indikçe daralır ve incelir. Vertebral kolonun aşırı ekstansiyonunu önler.

Ligamentum Flavum: Bu ligaman adını içerdiği fazla miktardaki elastin liflerinin neden olduğu karakteristik sarı renginden alır. Üstteki vertebra laminasının ön yüzüne, alttaki vertebra laminasının arka yüzüne yapışır. Omurganın fleksiyonuna izin verir. Alt torasik ve lomber bölgede daha kalın ve güçlüdür. Spinal dejenerasyon geliştikçe artan strese bağlı olarak hipertrofiye uğrar ve spinal kanalın daralmasına neden olur.

İnterspinöz ligaman: Spinöz çıkıntıların kök ve uç kısımları arasında yer alır.

Supraspinöz ligaman: Spinöz çıkıntıların uç kısımlarını birleştirir.

İntertransvers ligaman: Oldukça zayıf yapıda olan bu ligaman transvers çıkıntıları birleştirir [10, 16].



Resim 2.1: Spinal ligamanlar [17]

2.1.5. Spinal kanal anatomisi

Spinal kanal; vertebra cismi ve disklerin arka duvarları ile lamina ve ligamentum flavumun ön yüzleri arasında kalan boşluk olarak tanımlanır. İçerisinde spinal kord ve sinir kökleri bulunur.

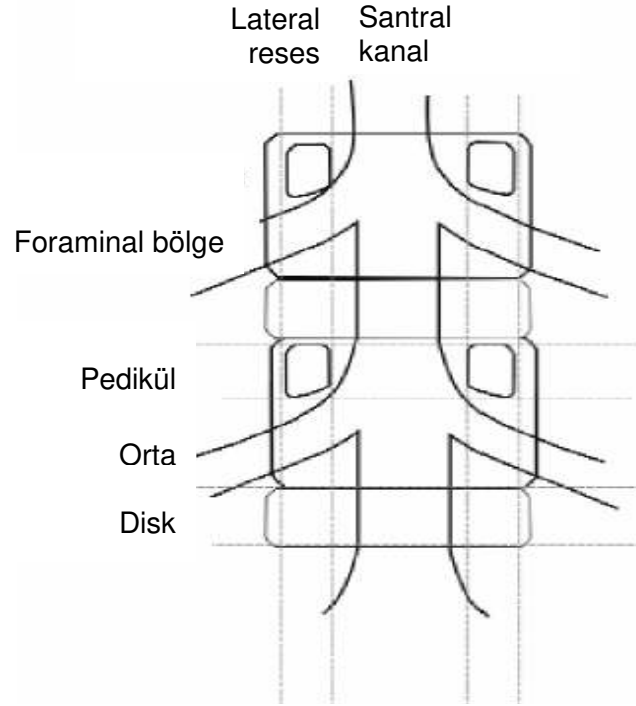
Kanal ile içerisindeki nöral elemanların boyutları arasındaki ilişki büyük bir öneme sahiptir. Torakalde olduğu gibi daha dar bölgelerde spinal kord spinal kanal boşluğunun büyük bir kısmını doldurmaktadır. Bu yüzden küçük boyutlu bir herniye disk veya tümör gibi yer kaplayan lezyon, ilerleyici ve önemli nörolojik komplikasyonlara neden olabilir. Lomber bölgede ise kanal geniştir ve spinal sinir kökleri için daha fazla yer bulunduğu için aynı boyuttaki bir lezyon daha uzun süre asemptomatik olarak kalabilir [10].

Spinal kanal; oval, üçgen veya yonca şeklinde olabilir. Yonca şeklindeki kanal populasyonun %15'inde bulunur ve bu tip spinal kanalın lateral kanal stenozuna yatkınlık yarattığı düşünülmektedir [15].

L1'den L5 vertebraya doğru gidildikçe spinal kanalın ön-arka çapı azalırken transvers çapı artar. Bunun sonucu olarak eliptik olan spinal kanalın şekli lomber bölgeye doğru inildikçe yonca şeklini almaktadır [18].

Her vertebra seviyesinde spinal kanal transvers planda 3 seviyeye ve sagittal planda 3 bölgeye ayrılır (Resim 2.2). Kranialden kaudale doğru transvers seviyeler; pedikül seviyesi, orta seviye ve disk seviyesi olarak ayrılır. Pedikül seviyesi pedikülün inferior ve superior sınırları arasında uzanır. Orta seviye, pedikülün alt sınırından başlar, kaudalde vertebral son plakta sonlanır. Disk seviyesi, vertebra alt son plağından bir alttaki pedikülün üst sınırına kadardır.

Orta hattın laterale doğru 3 sagittal bölge: santral, lateral reses ve pedikül bölgesidir. Santral bölge; basıya uğramamış olan dural kesenin dış kenarları arasında kalan bölgeyi içerir. Lateral reses bölgesi dural kese dış kenarı ile pedikül iç sınırı arasında kalan bölgedir. Pedikül bölgesi ise pedikülün iç ve dış sınırları arasında kalan alan olarak tanımlanır. Spinal kök kanalı lateral reses bölgesi içinde yer alır. İntervertebral foramenler ise pedikül bölgesi içerisinde yer alır. Foramenin üst kısmı orta seviyede iken alt kısmı ise disk seviyesinde yer alır [19].



Resim 2.2: Vertebral kanalın sagittal ve transvers plandaki bölge ve seviyeleri [20]

2.2. Spinal Stenoz

2.2.1. Tarihçe

Spinal stenoz 1883'te tanımlanmış olmasına rağmen bu patolojinin ilk modern tanımını 1954 yılında Verbiest yapmıştır [6, 21]. Lomber spinal stenozun karakteristik bir semptomu olan nörojenik klodikasyon terimi ilk olarak 1911 yılında Dejerine tarafından kullanılmış olup 1948 yılında Van Gelderen nörojenik klodikasyonu; "spinal kanalın lokalize kemiksi daralmasının neden olduğu bel ağrısı ve bacaklarda stresle ilişkili klinik semptom ve bulgular" olarak tarif etmiştir [6].

Konjenital lomber spinal stenoz ilk olarak çocuklarda Türk ortopedist Sarpyener tarafından tanımlanmıştır [22].

2.2.2 Tanım ve sınıflama

1983 yılında Postacchini lomber spinal stenozu tekal kese veya sinir köklerini komprese eden vertebral kanal ve/veya intervertebral foramen darlığı olarak tanımlamış ve kompresyonun olmadığı durumda kanalın stenotik değil, daralmış olarak adlandırılması gerektiğini öne sürmüştür [4]. Bu tanıma göre; asemptomatik bir disk hernisi durumunda kanalda daralmadan bahsedilebilirken, nöral ve vasküler yapılarda disk hernisine bağlı olarak gelişen dejeneratif sürece sekonder bası varlığında ise spinal stenozdan söz edilebilir.

Servikal spondilolitik myelopati ise en sık olarak servikal spinal stenozla ilgili olarak gelişen, spinal kord veya vasküler yapılarının ekstremsel basısından kaynaklanan spinal kord disfonksiyonu olarak tanımlanır [23]. Servikal kanal stenozuna en sık dejeneratif değişikliklere bağlı olarak gelişen spondiloz katkıda bulunur [24].

Spinal stenoz etiyolojiye ve anatomiye göre sınıflandırılabilir [6, 19]. Lomber spinal stenozu ilk defa tanımlayan Verbiest'in etiyolojiye göre yaptığı sınıflama, hala kullanılmakta olan bir sınıflamadır (Tablo 2.1). Etiyolojik sınıflamada spinal stenoz, primer ve sekonder olmak üzere 2 ana gruba ayrılır.

Primer stenoz, spinal kanaldaki konjenital veya akondroplazideki kemik displazisi gibi gelişimsel daralmaya bağlı iken, sekonder (edinsel) stenoz en sık olarak dejeneratif nedenlere bağlı olmak üzere lokal enfeksiyon, tümör, travma, ossifiye posterior longitudinal ligaman (OPLL) veya önceki cerrahiye bağlı olarak insitabilitenin neden olduğu spondilolistezis gibi nedenleri içeren geniş bir klinik yelpazeden oluşur [3, 6, 19, 24]. Spinal stenozla neden olan nadir etkenler Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Verbiest'in spinal stenoz sınıflaması [25]

I. Omurga kanalının kemik yapılarından kaynaklanan stenozlar	
a.	Konjenital stenoz. (Ör: Spinal disrafizm, konjenital blok vertebra)
b.	Kemik gelişiminin doğumsal bozukluklarına bağlı gelişen LSS (Ör: Akondroplazi)
c.	İdiyopatik gelişimsel stenoz
d.	Edinsel stenoz (Ör: Dejeneratif, spondilolitik, posttravmatik)
e.	Nüks stenoz (Ör: Laminektomi sonrası gelişenler)
II. Omurga kanalının yumuşak dokularından kaynaklanan stenozlar	
a.	Posterior longitudinal ligaman ve ligamentum flavum hipertrofisi
b.	Büyük orta hat disk hernisi

Tablo 2.2: Omurga kanalında daralmaya neden olan nadir etkenler [25]

Akondroplazi	Hipoparatiroidizm	Renal osteodistrofi
Akromegali	Psödogut	Romatoid artritis
Ankilozan spondilit	Vit. D dirençli raşitizm	Scheuermann hastalığı
Down sendromu	Morquio sendromu	Skolyoz
Epidural lipomatozis	Oksalozis	Spina bifida
Florozis	Paget hastalığı	Spondilolistezis

Anatomik sınıflandırma spinal kanal darlığının geliştiği bölgeleri tanımlamak için kullanılır ve cerrahi dekompresyon için rehber niteliktedir [19]. Santral kanal, lateral kanal veya foramen stenozu şeklinde sınıflandırılmaktadır. Dejenerasyonun dağılımına bağlı olarak santral, lateral kanal veya foraminal stenoz tek başına veya kombinasyonları şeklinde olabilir [3, 6, 21].

LSS, spinal kanalın ön-arka çapına göre rölatif ve mutlak LSS olarak sınıflandırılabilir. Rölatif spinal stenozda fizyolojik değeri 22-25 mm olan spinal kanal çapı 10-12 mm arasında ve genellikle asemptomatiktir. Mutlak spinal stenozda ise spinal kanal çapı 10 mm altında ve sıklıkla semptomatik olup subaraknoid boşluk kaybolmuştur.

Lateral resesin 3-5 mm arasındaki fizyolojik çapı, 2-3 mm arasında ise şüpheli, 2 mm'in altında ise kesin stenotik olarak kabul edilmektedir [2, 6, 18].

Sevikal kanal stenozunda ise mutlak stenoz kanal ön-arka çapının 10 mm'nin altında olması, rölatif stenoz ise 10-13 mm arasında olması olarak tanımlanır [26]. Servikal spinal stenozda normal ön-arka çapı 17-22 mm olan spinal kanalın çapı 12 mm'in altına indiğinde servikal myelopati gelişme riski mevcuttur [27].

Ancak; bu parametrelere göre yapılan sınıflama yalnızca santral stenoz için geçerli olup nöral foramen ve lateral kanal stenozunun sınıflamasında bu kriterler kullanılamamaktadır.

2.2.3 Epidemiyoloji

Lomber spinal stenozun yıllık insidansı 100 000 kişide 1 olarak bildirilmiş olup, bu rakam servikal spinal stenoz insidansından 4 kat daha fazladır [6].

Framingham çalışmasına göre rölatif LSS prevalansı %23,5, mutlak LSS prevalansı ise %8,4 olarak bildirilmiştir. Edinsel LSS prevalansı ise yaşla birlikte artış göstermektedir. 60-69 yaş arasında rölatif LSS prevalansı %47,2 ve mutlak LSS prevalansı ise %19,4'e yükselmektedir.

LSS prevalansı cinsiyet farkı göstermemektedir [2].

2.2.4. Stenoz gelişimi ve patofizyoloji

Lomber spinal stenoz tek hareket segmenti ile sınırlı veya multisegmental olabilir. Spinal kanalın tek tarafını veya her iki tarafını ilgilendirebilir [6, 19].

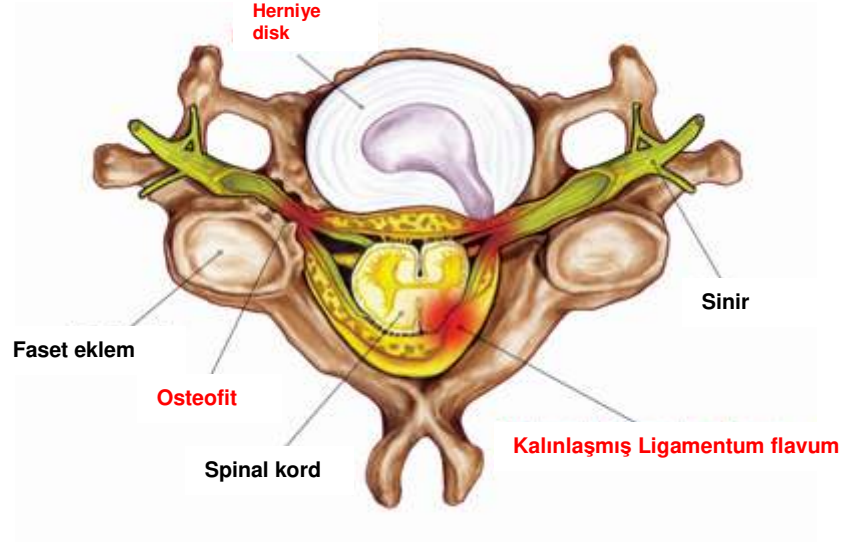
Santral stenoz: Birçok faktör spinal stenoz gelişimine katkıda bulunur ve bu faktörler sinerjistik etkiyle durumu kötüleştirebilir.

Santral kanal stenozu; disk yüksekliğinde azalmaya ve faset veya ligamentum flavumun hipertrofisine bağlı olarak genellikle spinal kanalın disk seviyesinde ön-arka ve/veya transvers çapındaki azalma sonucu gelişir [3, 19] (Resim 2.3).

Vertebral disklerin dejenerasyonu ve kollapsı posterior anulusun “bulging”ine neden olur, spinal kanalın ventralden daralmasına yol açar. Disk dejenerasyonu sonucunda faset eklemlere binen yükün artışına bağlı olarak sekonder faset artrozu ve hipertrofisi gelişir. Segmental yapılardaki yüksekliğin azalmasıyla beraber ligamentum flavumda kalınlaşma meydana gelir, katlanmalar artar ve dorsal kısımda spinal dura üzerindeki basıncı arttırarak dorsal santral stenozu oluşturur. Gevşeyen ligamanlara bağlı artan insitabilite, yumuşak dokudaki hipertrofi ve osteofitlerde artışa neden olarak santral kanalda karakteristik yonca şeklindeki daralmayı oluşturur [6, 21].

Lateral kanal ve nöral foramen stenozu: Azalmış disk yüksekliği, faset hipertrofisi ve vertebral son plak osteofitleri lateral kanal stenozuna neden olmaktadır. Spinal sinir kökü disk seviyesinde ve pedikül seviyesinin üst kısmında etkilenebilir [1, 19].

Foraminal stenoz en sık disk seviyesinde meydana gelir. Disk boşluğunda daralma, faset hipertrofisi, osteofitlerin foramene uzanması, anulus bulgingi veya herniye diske bağlı gelişir. Pedikül seviyesinde stenozu ise nadirdir, bu bölgede ekstrüde disk materyali, spondilolitik defektler veya kısa ve kalın pediküller nedeniyle gelişebilir. Foraminal stenoz sıklıkla L5 sinir kökünü etkiler, çünkü L5-S1 forameni en küçük foramen/kök alanı oranına sahiptir [3, 19].



Resim 2.3: Spinal stenozda sinir basısına neden olan faktörler [28]

Ligamentum flavum hipertrofisi mekanik strese sekonder gelişen fibrozise bağlı oluşur. Özellikle hipertrofinin erken evrelerinde endotel hücrelerinden salınan “transforming growth faktör”ün (TGF- β) fibrozisi tetiklediği düşünülmektedir [3]. Normal kalınlığı 2-5 mm olan ligamentum flavum, hipertrofiye uğradığında 5-10 mm’ye ulaşabilir. Bazı araştırmacılar ligamentum flavumda meydana gelen kalınlaşmanın nöral elemanları komprese eden en önemli sebep olduğunu öne sürmektedir [29].

Dejeneratif spinal stenoz; sinir kökleri, meninksler ve intraspinal damarların ve bazı ileri olgularda kauda equinanın sıkışmasına neden olur. Sinir kökü basısı lokalize inflamasyonu tetikler ve sinirin uyarılabilirliğini etkiler.

LSS ile ilişkili en sık semptom olan nörojenik klodikasyoya yol açan birbiri ile ilişkili iki vasküler mekanizma hipotezi mevcuttur; iskemiye neden olan arter kan akımında azalma ve sinirlerin basısına yol açan ve perfüzyonda sekonder bozulmaya neden olan venöz konjesyon [6].

Spinal stenozlu hastalarda venöz hipertansiyon ve konjesyon varlığı gösterilmiştir. Sinir köklerinin arteriyel kanlanmasındaki yetmezlik ve venöz konjesyonun neden olduğu epidural ve intratekal basınç artışı iskemik nörite neden olarak sinir kökünde hasar oluşmasına ve nörojenik klodikasyo

semptomlarının gelişmesine yol açabilir. Lomber bölge ekstansiyonu ile spinal epidural basınç artarak venöz sistem basıncını geçer. Bu basınç artışı spinal kanal içindeki mevcut konjesyonu daha da kötüleştirir. Fleksiyon hareketi ise kanal çapında genişleme sağlayarak, epidural basıncın ve dolayısıyla konjesyonun azalmasına ve kan akışının artmasına neden olur [15].

Normalde alt ekstremitte egzersizi sırasında meydana gelen ve spinal sinir köklerinin beslenmesini devam ettiren arteriyel dilatasyon spinal stenozlu hastalarda yeterli olmayabilir. Yaşla beraber spinal stenoz sıklığı arttığından pek çok hastada eşlik eden ateroskleroz da mevcuttur. Ateroskleroz nedeniyle yeterli arteriyel dilatasyonun sağlanamaması egzersiz sırasında kötüleşen klodikasyo semptomlarına neden olur. Nörojenik klodikasyoya ek olarak spinal stenozlu hastalarda vasküler klodikasyo komponentinin de bulunabileceği düşünülmektedir. Bu teori, arteriyel dilatatör etkisi olan kalsitoninin verildiği spinal stenozlu hastalarda egzersiz toleransının artışı da açıklayabilir.

Spinal stenozlu hastalarda semptomların antiinflamatuvar ilaçlar ve epidural steroid enjeksiyonları ile azalması inflamasyonun varlığını düşündürmektedir. Normalde anulus içinde bulunan nükleusun yırtıklar sonucunda dışarı çıkması ile, yabancı olan bu nükleusa karşı lokal bir immün reaksiyon başlar. Herniye diski olan hastaların beyin omurilik sıvısında antijen-antikor kompleksi ve immünglobulin konsantrasyonlarının arttığı gösterilmiştir.

Kronik spinal stenozu olan hastalardaki akut alevlenmelerin, kronik olarak inflame olan ve artmış mekanik hassasiyet gelişen sinir kökündeki minör irritasyonlara bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir [15].

Servikal kanalda da disk herniasyonları, osteofitler ve OPLL kanalı daha da daraltarak ekstansiyon gibi minor travmatik olaylar ve indirekt iskemi ile beraber nörolojik defisit gelişmesine neden olabilir [26].

2.2.5. Bulgu ve semptomlar

Radyolojik stenoz ile hastaların semptomları arasında genellikle zayıf bir ilişki mevcuttur. Semptomlar aylar ve yıllar içerisinde yavaş yavaş gelişir.

Nörojenik klodikasyo (NK) lomber spinal stenozun en spesifik semptomudur [6]. NK, sıklıkla iyi lokalize edilemeyen bacak ağrısı ile karakterize olup şikayetler gluteal bölge, kasık, uyluk ön kısmı veya baldırı da ilgilendirebilir. Ağırılık hissi, yorgunluk ve bazen uyuşma ve güçsüzlük eşlik eder. Çoğunlukla bilateral ve simetriktr [2, 3, 29]. Hastalar genellikle yürüme mesafesindeki kısalmadan yakınır. Bu semptom erkeklerde daha yaygındır ve daha sık oranda cerrahi gerektirir [2].

NK'nin karakteristik özelliği postür ile ilişkisidir. Semptomlar ekstansiyon, ayakta durma ve yürüme ile progresif olarak kötüleşirken, oturma veya öne eğilme ile hafifler [3, 29]. Hastalar öne doğru eğilerek torakal kifozunda artış, lomber lordozunda azalma sağladığında yürüme mesafesi artar. Ve sonuçta semptomları azaltan, kalça ve dizin hafifçe fleksiyonda olduğu bir postür geliştirirler [3, 19]. Yokuş yukarı yürüme fleksiyonu arttırdığı için hastalar tarafından daha rahat tolere edilebilirken, yokuş aşağı yürüme ekstansiyonu arttırdığından semptomları kötüleştirir. Vasküler klodikasyoda ise her iki durumda da semptomlar değişmez.

Ayırıcı tanıda önemli olan en önemli klinik test ise bisiklet testidir. NK'de test sırasında semptomlar azalırken vasküler klodikasyoda ise daha da kötüleşir [21].

Bel ağrısı eşlik edebilir ancak bacak ağrısı hasta için daha rahatsızlık vericidir. Hamstring gerginliği sıklıkla saptanır [3]. Ağrı genellikle hissizlik ve güç kaybından önce gelişir ve radiküler paterndedir. Semptomlar tipik olarak yatar veya oturur pozisyonadaki 2-5 dakikalık istirahatle geriler. Ağrı santral kanal stenozunda sıklıkla bilateral ve zayıf olarak lokalize edilebilirken, lateral kanal stenozunun ön planda olduğu durumda radiküler karakterlidir [2].

Lateral veya foraminal kanal stenozunda izole radikülopati gelişebilir. Bu hastalar sıklıkla daha gençtir. Ağrı şiddetli ve radikülerdir, valsava manevrası ile kötüleşebilir. Düz bacak kaldırma testi sıklıkla pozitifdir. Lomber

omurga ekstansiyonu ligamentum flavumun gevşeyip kıvrılmasına neden olarak radikülopatiyi tetikler, aynı zamanda disk protrüzyonunu artırır [3, 6, 29]. Kompresif radikülopati otonom disfonksiyona ve bacaklardaki dolaşımın bozulmasına yol açabilir [6].

Saptanabilen duyu ve motor defisit genellikle gözlenmezken, azalmış veya kayıp patellar refleks tek klinik bulgu olabilir. Düz bacak kaldırma testi genellikle normaldir, çünkü siyatik germe manevrası aynı zamanda lomber omurgada fleksiyona neden olarak sinir kökü üzerindeki basıyı azaltmaktadır. Kauda equina sendromu LSS'de nadir görülür, aralıklı ya da progresif olarak üriner veya fekal inkontinans, impotans, eyer tarzında duyu kaybı semptomlarına yol açabilir [2].

Şiddetli lomber spinal stenozu olan hastalarda sıklıkla servikal spondilolitik myelopati de eşlik ettiğinden hastalar bu yönden mutlaka dikkatle değerlendirilmelidir [24].

Servikal spondilolitik myelopati ellerde amyotrofik ve myelopatik el olarak tanımlanan iki farklı değişikliğe neden olur. Amyotrofik elde lokalize atrofi, intrinsek ve ekstrinsek el kaslarında güçsüzlük varken duyu kaybı ve yürüme bozukluğu eşlik etmez. Bu spinal kordun C7-T1 segmentindeki azalmış kesitsel alanı ile ilişkilidir. Myelopatik elde ise spastik disfonksiyonla beraber ağrı duyusunda azalma görülür, bu hastalarda daha yüksek seviyelerdeki spinal kord çapında azalma mevcuttur [30].

Servikal stenozda kol ve bacaklarda üst motor nöron bulguları ile beraber kord veya kök kompresyonu düzeyinde alt motor nöron bulguları gözlenir. Üst ve alt ekstremitelerde güçsüzlük, hissizlik, denge kaybı ile karakterizedir. Yaygın hiperrefleksi, bilateral Babinski pozitifliği, Hoffmann bulgusu, klonus, vibrasyon ve pozisyon duyusunda azalma, tandem yürüyüşte bozulma ve geniş tabanlı yürüyüş kronik veya ciddi myelopatide sıklıkla mevcuttur [24, 26]. Servikal omurganın maksimal fleksiyon ve ekstansiyonu sırasında ekstremitelere yayılan elektriklenme hissi (Lhermitte bulgusu) görülebilir [31]. Barsak ve mesane fonksiyonlarında bozulma nadir olmakla beraber varlığı şiddetli hastalık ile ilişkilidir [24].

2.2.6. Radyolojik görüntüleme

Semptomatik olan hastaların görüntülemesinde akılda tutulması gereken, 60 yaşın üstündeki hastalarda lomber ve servikal bölgede dejeneratif değişikliklerin oldukça sık gözlemlendiğidir. Aseptomatik popülasyonda yapılan çalışmalarda %20'ye varan spinal stenoz ile uyumlu görüntüleme bulguları gözlenmiştir [3, 6].

Manyetik Rezonans görüntüleme (MR): Spinal stenozun değerlendirilmesinde sıklıkla tercih edilen görüntüleme yöntemidir. Yumuşak dokuların ve özellikle intervertebral diskin değerlendirilmesini sağlar [19].

T2 ağırlıklı kesitlerde tekal kese, intratekal ve intraforaminal sinir kökleri ve spinal kord değerlendirilebilir. Gadolinium verilerek çekilen kontrastlı MR, daha önceki cerrahiye bağlı skar dokusunu ayırt etmek için kullanılabilir [6].

Bilgisayarlı Tomografi (BT): Spinal kanalın değerlendirilmesi ile disk, ligaman ve kemik yapılardan kaynaklanan kompresyon nedeninin ayırt edilmesi için kullanılmaktadır. Özellikle kemiksel anatominin doğru olarak değerlendirilmesi gereken cerrahi tedavinin planlandığı hastalarda faydalıdır.

BT görüntülemenin kısıtlılığı; serebrospinal sıvı ile aynı dansiteye sahip olan intratekal sinir köklerini ve spinal kordu ayırt edememesidir. Ancak bu sorun BT miyelografi ile çözülebilir [6].

BT, maliyet-etkinliği göz önüne alındığında spinal stenoz tanısında en etkin görüntüleme yöntemidir [19].

Direkt grafi: Spinal stenozda kemik dejenerasyonunu ve lateral ve koronal plandaki omurga dizilimini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Eşlik eden dejeneratif spondilolistezis ve skolyoz varlığını saptamada yardımcıdır [6]. Kanal çapının radyografik olarak ölçümü hatalı sonuçlara neden olabilir. Bu sebeple spinal kanalın vertebra gövdesi sagittal çapına oranı, kanal stenozunun şiddetinin değerlendirilmesinde önerilmektedir. Normal değeri 1 olan bu oranın 0,82'nin altında olmasının kanal stenozunu %92 doğrulukla saptayabileceği gösterilmiştir [24].

Miyelografi: Konvansiyonel miyelografi spinal stenoz tanısında uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Ancak stenoz nedenini tanımlamada yetersiz kalabilir. Hiperekstansiyon ve hiperfleksiyonun stenoz üzerindeki dinamik etkisini göstermek için kullanılabilir. Aynı zamanda metalik implanta bağlı olarak BT ve MR görüntüleri sağlıklı olmayan hastalarda kullanılabilecek en uygun görüntüleme yöntemidir. İnvaziv olması, ponksiyon sonrası baş ağrısı gelişmesi, omurga enfeksiyonu ve hayatı tehdit edebilecek anaflaktik reaksiyonlara sebep olması ise dezavantajlarıdır [6, 19].

Kontrast madde bloğu varlığı, dekompresyon cerrahisinin başarılı sonuçlanacağına dair güvenilebilir, iyi bir belirteçtir [6].

Yakın zamanda yapılan çalışmalar tanısal değer açısından konvansiyonel miyelografi, BT ve MR görüntüleme arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir [3, 6].

2.2.7. Elektrodiagnostik testler

Semptomların başlangıcında elektrofizyolojik testler genellikle normaldir. Nöral yapılardaki hasar ilerledikçe iletim bloğu, aksonal kayıp ve demyelinizasyon başlar [32]. Anormal bulgular sıklıkla bilateral ve çok seviyeli sinir kökü etkilenmiştir. Özellikle görüntüleme yöntemleri ile gözden kaçırılabilen lateral kanal stenozunu göstermede etkili olabilir [29].

Elektrodiagnostik çalışmalar spinal stenoz şüphesi olan hastalarda hem tanıda hem de benzer semptomları olanlarda diğer nedenleri dışlamak için yararlıdır.

Sinir kökünde akson kaybı meydana gelen stenozlu hastalarda sinir iletim çalışmalarında, birleşik kas aksiyon potansiyeli (BKAP) amplitütü küçülmüş bulunabilir. Distal latans ve motor iletim hızı normaldir veya çok hafif değişiklik gösterir. Spinal stenozdaki sinir kökü hasarı preganglionik seviyede olduğundan duyu iletim çalışmaları genellikle normaldir. Ancak yaşa bağlı olarak duysal potansiyellerin de azalmış veya kayıp olabileceği akılda tutulmalıdır.

Lomber stenozda S1 kökünün etkilendiği durumlarda H refleksi latansı uzamış veya kaybolmuş olabilir. F-yanıtlarının latansları uzamış olarak bulunabilir.

İğne elektromiyografi (EMG) çalışması spinal stenozda en yararlı testtir. Poliradikülopati saptanabilir. Lomber bölgede en sık L5 ve S1 kökleri etkilenmiştir. Spinal stenozun kronik doğası nedeniyle reinnervasyon gözlenebilir, buna bağlı olarak fibrilasyon potansiyelleri daha çok distal kaslarda sınırlı olma eğilimi gösterir. Motor ünite potansiyellerinde uzamış süre ve artmış amplitüt gibi kronik nörojenik değişiklikler gözlenebilir [33].

Spinal kordun değerlendirilmesinde SUP ve kortikal veya sinir köklerinin uyarımı ile elde edilen MUP'lar da tanıda yardımcıdır [31].

2.2.8. Ayırıcı tanı

Spinal stenoz tanısını koymak kimi zaman oldukça güçtür çünkü semptomlar genellikle istirahatte mevcut değildir ve diğer hastalıkları taklit etmektedir.

LSS ayırıcı tanısında periferik nöropati, sakroiliak eklem hastalığı, tümörler, Paget hastalığı, spinal enfeksiyonlar, lomber pleksopati, kalça ve dizin osteoartriti, trokanterik bursit, osteoporotik kompresyon fraktürleri, spondilolistezis akla gelmelidir [6, 19, 33].

Abdominal veya iliak anevrizma rüptürleri, aort diseksiyonu, alt ekstermite derin ven trombozu veya arteriyel yetmezlik gibi akut vasküler durumlar ile pelvik, renal ve gastrointestinal organ patolojileri de spinal stenozu taklit edebilir [21, 33].

Sevikal spinal stenoza bağlı spondilolitik myelopati ayırıcı tanısında ise amyotrofik lateral skleroz, multipl skleroz, syringomyeli, serebral patolojiler, paraneoplastik sendromlar, toksik ve metabolik bozukluklar (diabet, alkolizm, vitamin B12 eksikliği), serebrovasküler olaylar, miyopati, hidrosefali, polinöropati akla gelmelidir [23, 26, 30].

2.2.9. Tedavi

Dejeneratif spinal stenozun ilerleyici doğası, hastalığın tamamen tedavi edilmesini güçleştirmektedir. Bu sebeple uygulanan tedavilerin temel hedefi semptomların şiddetini azaltmaktır [6].

Medikal tedavi: Spinal stenozlu hastalarda analjezikler, non steroid antiinflamatuvar ilaçlar, kas gevşeticiler ve opioidler sık kullanılan ajanlardır [3].

Fizik tedavi ajanları: Spinal stenoz semptomlarının tedavisinde kullanılan ajanlar ultrason, sıcak paketler, kısa dalga diatermi, TENS ve traksiyondur [3, 19].

Egzersiz programı: Germe, güçlendirme, aerobik ve endurans egzersizleri ile yürüyüş bandı ve bisiklet önerilen tedaviler arasındadır [3, 19].

Lokal enjeksiyon: Dejeneratif spinal stenozda lokal inflamatuvar mediatörlerin rolü konusundaki bilgiler sınırlı olduğundan epidural kortikosteroid enjeksiyonlarının spinal stenozda kullanımı halen tartışmalıdır [19].

Cerrahi Tedavi: İleri radyolojik görüntüleme tekniklerinin yaygınlaşması ve görüntü kalitesindeki artışın katkısı ile beraber LSS günümüzde lomber omurga cerrahisi için en sık endikasyon haline gelmiştir [21, 34].

Cerrahi için en iyi adaylar; nöral yapıların şiddetli basısı, ciddi bacak semptomları olan, nörolojik defisiti olmayan veya ılımlı olanlarla, bel ağrısı olmayan veya çok az olan (dejeneratif spondilolistezisli olanlar hariç) hastalardır [4].

Kauda equina sendromu varlığında acil cerrahi gerekir [6]. Servikal stenozlu hastalarda ise fonksiyonlarda progresif kötüleşme olan ve remisyona girmeyenlerde cerrahi dekompresyon endikedir [30].

Dekompresif cerrahi prosedürler; laminektomi, hemilaminektomi, hemilaminotomi, fenestrasyon, foraminotomi ve interspinöz distraksiyon cihaz implantasyonudur [6]. İnsitabilite veya spondilolitik defektlerin varlığında dekompresyona ek olarak posterior veya anterior enstrümantasyon uygulanmaktadır [24].

2.3. İntraoperatif Nörofizyolojik Monitorizasyon

İntraoperatif monitorizasyonun primer amacı sinir sistemi yapılarında geri dönüşümsüz bir hasar meydana gelmeden önce erken dönemde bozulmayı saptamaktır. Kalıcı nörolojik hasar gelişimini nörovasküler yapılardaki traksiyon, bası gibi tehlike yaratan birçok durumun süresi belirlemektedir. Sürekli monitorizasyon ile hasar gerçek zamanlı olarak tespit edilebilir ve cerrah tarafından operatif yaklaşım modifiye edilerek nörolojik sistem fonksiyonları korunabilir. Eğer hasarı geri döndürebilecek manevra en kısa sürede uygulanabilirse kalıcı hasar gelişiminden kaçınmak mümkün olabilecektir.

Nörolojik hasar meydana geldiğinde ise hastanın fonksiyonel kayıplarının yanında topluma getirdiği ekonomik yük de oldukça büyüktür. Bu sebeple hasarı önlemek tedavi etmeye çalışmaktan çoğunlukla çok daha az maliyetlidir. Maliyet-etkinliği, sigorta sistemleri ve tıbbi hukuksal sorunlar nedeniyle yüksek riskli cerrahilerde nörofizyolojik intraoperatif monitorizasyon birçok ülkede standart yaklaşım haline gelmiştir [35].

SUP ve MUP modalitelerinin günümüzde birlikte kullanılması ile birlikte intraoperatif değişiklikler daha fazla oranda saptanabilmekte, bu da izlemin güvenilirliğini arttırmaktadır [36, 37, 38].

İONM iki farklı teknik kategoriden oluşur: monitorizasyon ve haritalama. Monitorizasyon nöral yolların fonksiyonel bütünlüğünü sürekli olarak değerlendirmeyi ifade eder, primer amacı cerrahiye bağlı oluşan nörofizyolojik değişiklikleri saptayarak kalıcı bozukluk meydana gelmeden önce düzeltmektir. Haritalama ise anatomik olarak belirsiz nöral yapıların tanımlanması ve korunmasını amaçlar [39].

2.3.1. Tarihçe

Somatosensoriyel uyartılmış potansiyeller, intraoperatif nörofizyolojinin gelişiminin erken dönemlerinde spinal kordun fonksiyonel devamlılığını göstermek için kullanılan tek uygun monitorizasyon modalitesiydi [40]. SUP kaydını ilk kez Dawson 1947'de yapmıştır [36].

Kısa zaman sonra bu tek modaliteli yaklaşımın; motor yollar için nonspesifik olması, inhalasyon anesteziyelerine karşı duyarlılığı, yanıtın güncellenmesinin uzun süre alması ve spinal kord patolojisi olan hastalarda SUP yanıtlarının kalitesinin düşük olması gibi pek çok dezavantajı olduğu gözlenmiştir.

İlk olarak Lesser ve arkadaşları 1986 yılında SUP parametrelerinde değişiklik olmaksızın spinal kordun motor yollarının hasarlanabileceğini rapor etmiştir. Daha sonra bu ilk gözlem Pelosi, Minahan ve Jones'un bildirdiği iyi dokümanite edilmiş olgularla da doğrulanmıştır.

Spinal kord monitorizasyonunda en önemli atılımlardan biri motor uyarılmış potansiyelin tanımlanması ile gerçekleşmiştir. Bu yöntemde yanıtlar tekli transkranial uyarı uygulayarak, spinal korddan D dalgalarının kaydedilmesi ile elde edilmiştir. Taniguchi ve arkadaşları tekli uyarı yerine kısa tren dalgalar şeklinde uyarı kullanmışlar ve MUP'ları ekstremiteler kaslarından kaydetmişlerdir [40].

MUP'ların 1870 yılında ilk temellerini atan Fritsch ve Hitzig ilk kez köpeklerde serebral motor korteksin elektriksel olarak uyarılabilirliğini tanımlamışlardır. 1954'de Gualtierotti ve Paterson insanlarda ilk kez kraniotomi olmadan saçlı deriden elektrik uyarıyı denemişlerdir, ancak bu uygulama klinikte kullanılamayacak kadar ağrılı bulunmuştur. Metron ve Morton saçlı deri üzerinden motor korteksi uyararak ekstremiteler kaslarından uyarılmış potansiyeller elde etmişlerdir [7]. Barker ve arkadaşları 1980 yılında transkranial manyetik stimülasyonu geliştirmişlerdir. 1993 yılında Taniguchi ve arkadaşlarının motor korteksi kısa tren dalgalarla uyararak anestezi altında kas MUP'ları elde etmesi büyük bir devrim yaratmıştır [41].

2.3.2. İntraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon endikasyonları

İntraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon gerektirebilen cerrahiler arasında skolyoz cerrahisi, servikal spondiloz, lomber stenoz, vertebra kırıkları, vertebral kolon tümörleri, posterior ligaman ossifikasyonu ve füzyon ve enstrümantasyon yapılan diğer spinal cerrahiler sayılabilir [8].

2.3.3. Hazırlık süreci

İONM'un hazırlık süreci monitorizasyon istemi ile başlar. Hastanın tanısı ve öngörülen cerrahi prosedür risk altındaki yapıları belirler. Monitorizasyondan beklenti hastanın nörolojik durumu göz önüne alınarak belirlenmelidir. İdeal olan, her hastanın nörolojik muayene ve uyartılmış potansiyelleri içeren preoperatif değerlendirmeden geçirilmesidir. Nörolojik açıdan normal olan hastalarda bu preoperatif değerlendirme olmazsa olmaz değildir ancak imkan dahilinde ise nörolojik bozukluğu olan hastalara mutlaka uygulanmalıdır. SUP'lar zaten elde edilemiyorsa, hastanın monitorize edilebilir olması pek mümkün olmadığından, yanıtları elde etmek için aşırı çaba harcanmasını önler. Ancak kas güçleri zayıf olan ve manyetik uyarımla preoperatif incelemede kas yanıtı elde edilemeyen bazı hastaları operasyon sırasında transkranial elektriksel uyarı ile monitorize etmek mümkün olabilir [8].

Her hastadan bilgilendirilmiş onam formu alınmalı ve monitorizasyondan beklenen yararlar ve olası komplikasyonlar hakkında bilgi verilmelidir.

2.3.4. Somatosensoriyel uyartılmış potansiyeller

Spinal cerrahide ilk kullanıma giren elektrofizyolojik izlem şekli SUP'dur. İlk olarak skolyoz cerrahisinde uygulanmıştır [42, 43]. Tüm uyartılmış potansiyeller içinde SUP'lar en sık kullanılan monitorizasyon modalitesidir [44, 45].

SUP monitorizasyonu periferik sinirden serebral hemisfere kadar olan tüm nörolojik seviyelerin değerlendirilmesini sağlar. SUP birçok sebepten İONM için oldukça uygun bir yöntemdir. Birincisi, modern teknik ve cihazlarla elde edilen yanıtların amplitüt ve latansları kantifiye edilebilir ve cerrahi boyunca karşılaştırma olanağı verir. İkinci olarak yanıtlar genellikle stabildir, bu sebeple gelişen bir hasar güvenle tanımlanabilmektedir. Üçüncüsü, somatosensoriyel yol boyunca birden çok alandan kayıtlama yapılabilir. Bu da nörolojik bir hasar geliştiğinde periferik sinir, spinal kord veya beyinde

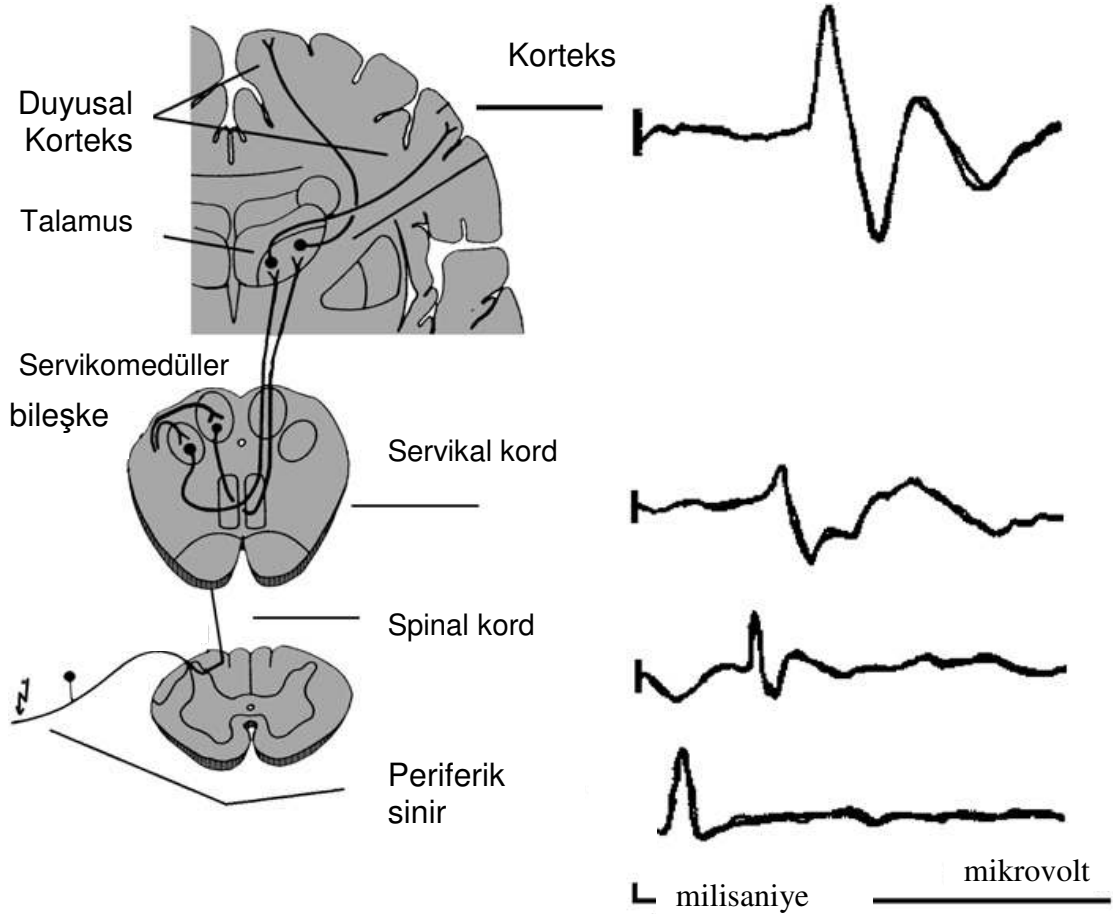
lokalize etme imkanı sağladığından etkene yönelik en uygun önlemi almak mümkündür. Dördüncü olarak da, SUP'lar duyusal lifler içeren hemen hemen tüm sinirlerden elde edilebilir [46].

Kayıtlamanın zaman alması, potansiyellerin küçük olması ve yüksek miktarda yanlış negatiflik oranları ise SUP izleminin dezavantajlarıdır [47].

Dorsal kolon, pozisyon ve vibrasyon duyularını taşıyan duyusal aksonları içerir. Periferik sinirlerin kalın çaplı liflerinin uyarımı ile oluşan yanıt, ipsilateral dorsal kolonda yukarı doğru seyreder ve servikomedüller bileşkede cuneatus ve grasilis çekirdeklerinde sinaps yapar. Medulla alt kısmında çaprazlaşan lifler karşı tarafta medial lemnisküs vasıtasıyla yukarı çıkar ve talamusa ulaşırlar. Burada da sinaps yaptıktan sonra somatosensoriyel kortekse yönelirler. Somatosensoriyel uyartılmış potansiyeller; periferik sinirlerden başlayıp beyine kadar uzanan bu duyusal yolların bütünlüğünü değerlendirmektedir [8, 48] (Resim 2.4).

SUP'lar beyaz cevher dorsal kolon-medial lemniskal yollardaki iletim hakkında bilgi vermesine rağmen gri cevher hakkında bilgi vermez. Ancak birleşik sensorimotor periferik sinir uyarımı ile kortikospinal yollar üzerindeki potansiyel bir hasarın tahmininde yardımcı olabilmektedir [36, 49]. SUP ile anterolateral kolon, spinoolivoserebellar ve spinoretiküloserebellar traktusların da monitorize edilebildiğine dair raporlar da mevcuttur [50].

Ağrı ve ısı duyusunu ileten spinotalamik sistem ise SUP ile değerlendirilememektedir [8].



Resim 2.4: Periferik sinir uyarım ile elde edilen somatosensoriyel uyartılmış potansiyel yanıtları [48]

2.3.4.1. Somatosensoriyel uyartılmış potansiyel endikasyonları

SUP'lar nörolojik aksın tüm seviyelerini değerlendirme imkanı sağladığından nöromonitorizasyonun en önemli parçalarından biridir. Klinik uygulamada servikal ve torasik seviyedeki spinal cerrahiler, posterior fossa cerrahileri, hemisferik ve derin beyin cerrahileri, aortanın vasküler cerrahileri ve periferik sinirlerin risk altında olduğu cerrahiler en uygun olgulardır.

Spinal kök seviyesinde ise SUP sensitivitesi düşüktür. SUP uyarımının yapıldığı periferik sinirler birden fazla sinir köklerinden oluştuğundan monoradikülopatilerde hassasiyeti azdır. Buna karşılık birden çok sinir

kökünün risk altında olduğu kauda equina gibi cerrahilerde ise SUP'un mutlaka yararı olacaktır [46].

2.3.4.2. Kayıt

Kayıt için yüzeysel kap, subdermal iğne veya tirbuşon elektrotlar kullanılabilir. Subdermal iğne elektrotlar hızla ve kolaylıkla yerleştirilebilir ancak uygun sabitleme yapılmazsa operasyon sırasında yerinden çıkabilir. Tirbuşon elektrotlar ise kafa derisine sıkıca penetre olduğundan daha güvenle sabitlenmesi mümkündür [44].

Cerrahi geri bildirim hasarın en kısa zamanda tanımlanması için oldukça önemlidir. SUP tekniğinde mikrovolt değerindeki küçük potansiyellerin gürültüden ayrılarak kaydedilebilmesi için yanıtlar ortalanarak elde edilir. Sinyal ortalaması çok sayıda uyarının tekrarı ile uygulanır ve ortalama kayıt tamamlanma süresi yaklaşık 5 dakikadır. Bu sebeple nörofizyolojik geri bildirim zamanı direkt olarak alınan ortalamanın süresi ile ilişkilidir [8, 43]. Amerikan Nörofizyolojik Monitorizasyon Derneği 300 ile 500 arasında ortalama alınmasını önermektedir [8].

Net bir yanıt elde etmek için alınması gereken ortalama sayısını sinyal-gürültü oranı belirler. Gürültü miktarı az olan yüksek amplitütlü sinyaller daha az ortalama gerektirir. Gürültü, elektrotlar arası mesafeye bağlıdır. Bu sebeple P37 kortikal derivasyonları, subkortikal derivasyonlara göre daha kısa elektrotlar arası mesafeye sahip olduğundan daha az gürültü içerir [51].

Uyartılmış potansiyellerin elde edilmesinde en önemli faktör yanıtın ve zemindeki gürültünün senkronize olmamasıdır. Bu sebeple gürültü amplitütünü ortalama ile azaltırken, seçilen uyarı hızının 50 Hz gürültü frekansının tam sayı bölenlerinden olmamasına dikkat edilmelidir (Ör: 2,0, 4,0 veya 5,0 gibi). Sıklıkla görülen diğer yüksek frekanslı ritmik paterndeki gürültü kaynaklarını ise uyarı hızında çok küçük değişiklikler yaparak azaltmak mümkün olmaktadır (Ör: 4,7'den 4,9'a çıkararak). Uyarı hızının genellikle 2-5 Hz arasında bir değerden seçilmesi önerilir. 1,5-3 Hz gibi düşük

uyarım hızı alt ekstremitte yanıtlarını sıklıkla iyileştirirken, üst ekstremitte SUP yanıtları ise 9 Hz kadar yüksek uyarı hızında bile çok az değişir veya hiç değişiklik göstermez. Üst ekstremitte uyarı hızının 9 Hz, alt ekstremitenin 5 Hz civarına yükseltmesi ise özellikle kortikal SUP yanıtlarında belirgin azalmaya yol açar [44].

Traseler arasında amplitüt değişkenliği %20-30'dan az ise ve yanıtlar üst üste çakışıyorsa güvenilir ve başarılı yanıtlar alındığı kabul edilir.

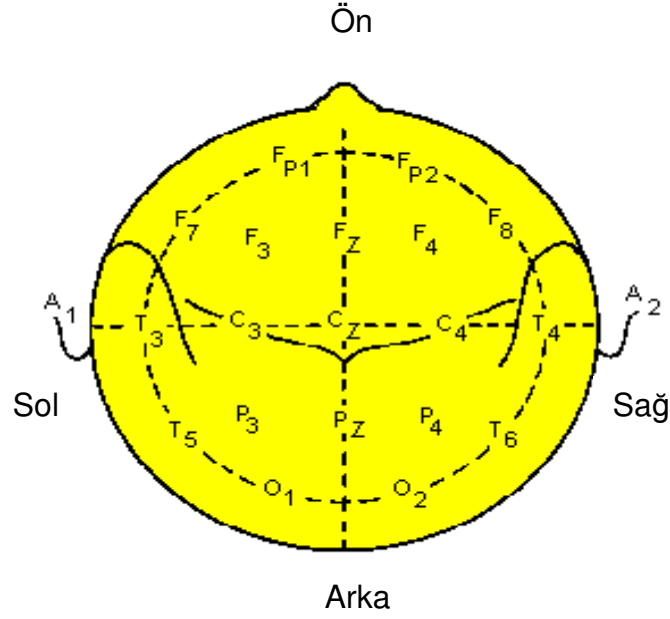
Servikal spinal kord monitorizasyonunda üst ekstremitte SUP, torakal seviyelerdeki cerrahilerde ise alt ekstremitte SUP izlemi önerilmektedir. Ancak bugün kılavuzlar, sistemik kontrolü sağlamak için 4 ekstremitenin de monitorizasyonunun yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Kortikal yanıt kaydı saçlı deriden yapılmaktadır. Yine subkortikal ve periferik potansiyellerin de kontrol amaçlı olarak alınması önerilmektedir [8, 43].

i. Kortikal potansiyeller: Periferik sinirin uyarılması ile elde edilen kortikal somatosensoriyel uyartılmış potansiyeller, post-santral girustaki somatosensoriyel korteks ve subkortikal yapılardan kaynaklanır [43].

Daha yüksek amplitüt ve sinyal-gürültü oranına sahiptirler [51, 52]. Kortikal potansiyeller anestezik ajanların baskılayıcı etkisine duyarlıdır.

Üst ekstremitte için aktif elektrotların lokalizasyonu; uyarılan tarafın karşı tarafındaki C3' (CP3) veya C4' (CP4) noktalarıdır. Bu noktalar 10-20 EEG sistemine göre C3 ve C4 noktalarının 2 cm arkasına denk düşer. Alt ekstremitte için ise orta hat üzerinde Cz (CPz)' nin 2 cm posterioru olan Cz' noktasına yerleştirilir [44]. Referans elektrot olan Fpz ise alına yerleştirilir [52] (Resim 2.5).

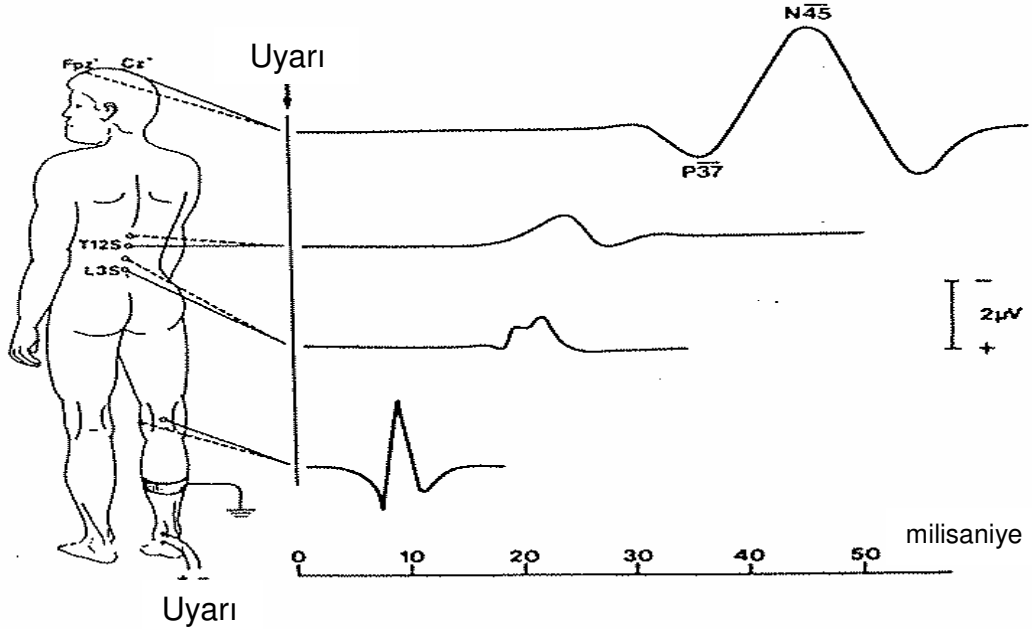


Resim 2.5: Somatosensoryel uyartılmış potansiyeller için kullanılan elektrot montaj noktaları [53]

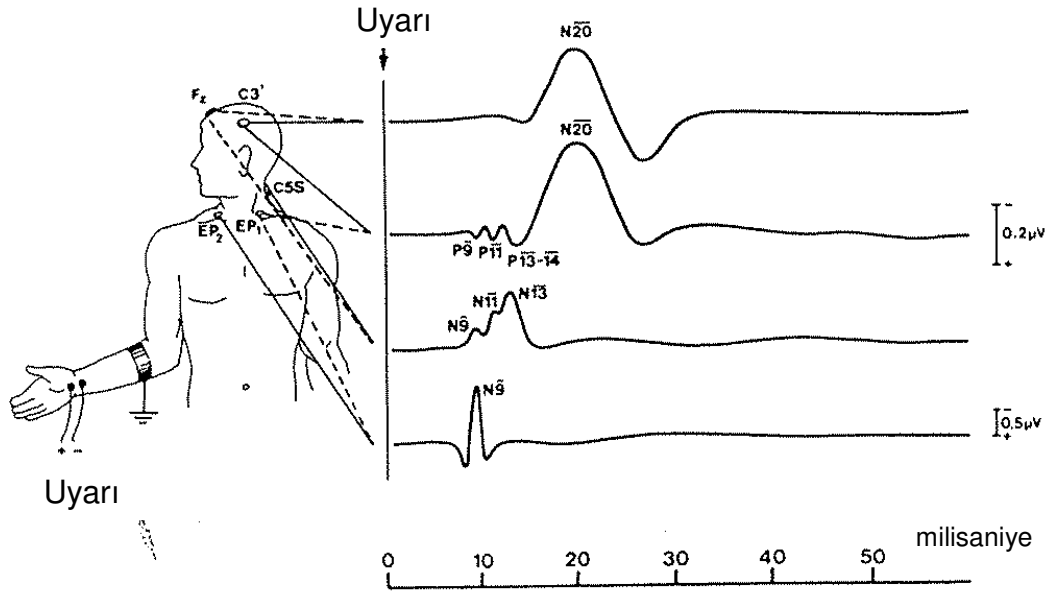
Kortikal SUP'lar oluşan pozitif ve negatif tepelerin latanslarına göre isimlendirilir. Bu değerler; posterior tibial sinir için P37 ve N45, median sinir için ise N20 ve P22'ye denk gelir [44]. P37 ve N20 primer kortikal somatosensoryel aktiviteyi yansıtır [54] (Resim 2.6, 2.7).

ii. Subkortikal-servikal potansiyeller: Beyin sapı kaynaklıdır. Servikal kordun postsinaptik aktivitesini yansıtır [43, 44, 51]. Genel anesteziklerden çok az etkilenir.

Posterior tibial sinir için tepe latanslar P31-N34, median sinir için N13'dür [44] (Resim 2.6, 2.7).



Resim 2.6: Posterior tibial sinir uyarımı ile elde edilen kortikal, lomber ve periferik potansiyeller [55]



Resim 2.7: Median sinir uyarımı ile elde edilen kortikal, servikal, Erb ve periferik potansiyeller [55]

iii. Periferik potansiyeller: Rutin olarak kullanılsa da lokalizasyonu ve kontrol sağlamayı kolaylaştırdığından periferik SUP kaydı önerilmektedir. Alt ekstremitte için genellikle popliteal fossa tercih edilirken üst ekstremitte için Erb noktasından kayıtlar alınmaktadır. Aktif elektrot aynı taraf Erb noktasına, referans elektrot ise karşı taraf Erb noktasına yerleştirilir [44].

EP: N9 potansiyeli olarak bilinir, Erb noktası altındaki brakial pleksus aktivitesini gösterir [54].

Elektrotlar uygun yerleştirildiğinde yüksek sinyal-gürültü oranına sahip olduğundan çok az sayıda ortalama alarak net bir yanıt elde etmek mümkündür. Periferik yanıtlar teknik kontrol sağladığı gibi distal ekstremitenin iskemi veya basısını saptama imkanı verir. Kortikal yanıtlarla beraber periferik yanıtlar da kayboluyorsa uyarım başarısızdır veya ekstremitte distalinde sorun (iskemi, bası) mevcuttur [8, 43, 51]. Eğer hasar cerrahi alanda ise periferik yanıtlar etkilenmemelidir [43].

2.3.4.3. Uyarı

Uyarı için çeşitli tip elektrotlar kullanılabilir; bar, metal disk, yapışkan yüzeyel ve subdermal iğne elektrotlar gibi [44].

Üst ekstremitte için bilekte median sinir en sık kullanılan uyarı noktasıdır. Alt ekstremitte ise medial malleolun hemen arkasından posterior tibial sinir uyarımı tercih edilir. Uyarı için kullanılabilecek diğer sinirler ulnar sinir ve peroneal sinirdir [36].

Kullanılacak sinirlerin seçiminde cerrahi prosedürün yanı sıra risk altındaki diğer nörolojik yapıların da göz önüne alınması önemlidir. Örneğin pozisyonlamaya bağlı olarak gelişen brakial pleksus hasarı, ulnar sinir uyarımıyla median sinire kıyasla daha iyi tespit edilebilmektedir. Ödemli alt ekstremitelerde ise peroneal sinir, posterior tibial sinire göre daha iyi bir seçim olabilir [44].

Uyarının etkinliğini belirleyen faktörler: uyarıcı elektrot tipi, elektrotların nöral dokuya olan yakınlığı, anestezi rejim ve monitorize edilen nöral yolların iletim durumudur.

Tekrarlanabilir SUP'lar elde etmek için supramaksimal uyarı şiddeti kullanılmalıdır. Uyarı şiddetini genellikle 50 miliamper'in (mA) üzerine çıkarmak gerekmez. Ancak nöral bir patoloji mevcutsa veya ödemli ekstremitte gibi akımın nöral dokuya yeterli miktarda geçişini engelleyen durumların varlığında uyarı şiddetini 100 mA'e kadar arttırmak gerekebilir. Bu durumda başka bir uyarı bölgesi veya yüzeysel elektrodun iğne elektrotla değiştirilmesi gibi diğer seçenekler de düşünülmelidir.

İlk geliştirilen monitorizasyon cihazları tek bir uyarı alanından gelen potansiyelleri kaydetmekte ve her ekstremitte için tek tek uygulanması gerekmekteydi. Bu da yanıtların elde edilmesinde önemli zaman kayıplarına neden olmaktaydı. Bugünkü cihazlar ise aynı anda pek çok bölgeden uyarılmış potansiyelin aynı panel üzerinde eş zamanlı kaydına imkan vererek hem daha hızlı bir sonuç elde etme, hem de iki taraf arasında karşılaştırma yapma imkanı tanımaktadır.

SUP için siniri eş zamanlı olarak her iki ekstremiteden uyarlamak mümkündür. Ancak bu metodla elde edilen yanıtlarda tek taraflı değişiklikleri gözden kaçırma ihtimali bulunduğundan bu yöntem bugün tercih edilmemektedir. Bunun yerine her iki ekstremitte uyarı başlangıçları arasında zaman farkı olacak şekilde eş zamanlı olarak kayıt alınması önerilmektedir [44].

2.3.4.4. Ortalama

Zemindeki nonspesifik EEG aktivitesi nedeniyle sinyal-gürültü oranını arttırabilmek için SUP yanıtlarının ortalanmaları gerekir [36].

Bazı kılavuzlar 500-2000 yanıtın ortalamalarının alınmasını önermektedir. SUP'un 2000 kez ortalanması yaklaşık olarak 7 dk sürerken, 300 kez avarajlama ise 1 dk gibi bir süreye denk gelir. Monitorizasyonun amacı düşünüldüğünde net bir yanıtı kısa sürede almak oldukça önemlidir. Bu nedenle band geçiş filtrelerinin doğru seçilmesi ile gürültü miktarının azaltılması, tekrarlanabilir ve net yanıtın daha kısa sürede alınmasına yardımcı olacaktır [44].

2.3.4.5. Filtre ve ekran ayarları:

Kortikal yanıtlar için alçak frekans filtresinin 1-30 Hz, yüksek frekans filtresinin 250-1000 Hz olarak ayarlanması önerilmektedir.

Subkortikal yanıtlar için filtreler 30-100 Hz ile 1000-3000 Hz arasında seçilmelidir.

Kortikal yanıtlar subkortikal yanıtlara göre daha düşük frekans içeriğine sahiptir. Genellikle kortikal yanıtların frekansları 30-500 Hz arasındadır. Bu sebeple yüksek frekanslı artefaktı azaltmak için yüksek frekans filtresini 300-500 Hz'e kadar düşürmek yararlı olur. Periferik ve subkortikal yanıtların ise frekansı yüksek olduğundan yüksek frekans filtresi 1000 Hz'e kadar çıkarılabilir. Bu değerin üzerine çıkılması ise fizyolojik aktivite frekansı üzerine çok az etki gösterirken, yüksek frekanslı çevresel gürültü miktarının artmasına neden olacaktır.

50 Hz artefaktı yaygın çevresel artefakt olup, bu artefaktı azaltmak için 50 Hz rejeksiyon filtresinin kullanılması genellikle önerilmemektedir. Çünkü yanıtlarda "*ringing artefakt*"a neden olduğundan yalnızca yanıtlar bu filtre olmadan elde edilemiyorsa kullanılmalıdır.

Üst ekstremité potansiyelinin tepe latansı normalde uyarı başlangıcından yaklaşık 20 ms sonra belirirken, alt ekstremitenininki 40 ms sonra belirir. Buna göre ekran süpürme hızının üst ekstremité yanıtları için 50 ms, alt ekstremité için 100 ms olarak ayarlanması önerilir [44].

2.3.4.6. Somatosensoriyel uyartılmış potansiyel değişimlerinin değerlendirilmesi ve alarm kriterleri

Yanıtlarda azalma olduğunda en sık kullanılan alarm kriterleri, bazale göre SUP amplitüdünde %50'den fazla düşme ve/veya latansta %10'un üzerinde uzamadır [44, 46]. Her monitorizasyon ekibinin kendi deneyimlerine göre kabul ettiği standart kriterler her zaman keskin sınırlarda uygulanamamakta ve yanıtların başlangıçtan itibaren zayıf olduğu koşullarda modifiye edilmesi gerekmektedir. Ayrıca sistemik faktörler değiştiğinde, anesteziye değişiklik yapıldığında, nöromusküler bloker kullanımında, masif

kan kayıpları veya diğer metabolik bozuklukların varlığında da mutlaka bu faktörlerin etkileri de göz önüne alınarak değerlendirme yapılmalıdır [46].

2.3.4.7. Lokalizasyon

SUP yanıtlarındaki bozulmanın lokalizasyonunu doğru bir şekilde yapmak; teknik, sistemik veya anesteziik sebeplerle oluşan değişiklikleri ayırt ederek cerrahi sürecin aksamasını, gereksiz uygulamaları ve uyandırma testlerini önlemek için oldukça önemlidir. SUP değişimlerinin cerrahi hasara bağlı olabileceği saptandığında ise cerraha hasarı geri döndürmek için en doğru düzeltici yaklaşımı uygulama imkanı sağlayabilmektedir [46]. Anormal SUP'lar periferik sinir, pleksus, spinal kök, spinal kord, beyin sapı, talamokortikal yollar veya primer somatosensoriyel korteks seviyelerindeki disfonksiyona bağlı olarak gelişebilir (Tablo 2.3). Spinal kordda multipl paralel afferent somatosensoriyel yollar (anterior spinotalamik traktus, dorsal kolon) mevcut olduğundan, hastada belirgin duyusal defisit olmasına rağmen SUP yanıtları normal olarak saptanabilir [52].

Tablo 2.3: Somatosensoriyel uyartılmış potansiyel değişim paternlerine göre nöral hasarın lokalizasyonu [46]

Nöral travma alanı	SUP değişiklik paterni
Spinal kord hasarı	Subkortikal ve kortikal yanıtlar yok, Erb noktası sağlam
Ekstremitenin kötü pozisyonu	Erb, subkortikal ve kortikal yanıtların tek taraflı kaybı
Serebral iskemi (Ör: karotis traksiyonu)	Kortikal yanıtın tek taraflı kaybı, subkortikal yanıt sağlam
Anesteziik etki	Global kortikal kayıp, subkortikal yanıtlar sağlam

2.3.5. Motor uyartılmış potansiyeller:

Spinal cerrahiler sırasında gelişen motor disfonksiyon en çok korkulan spinal kord hasarıdır. Skolyoz Araştırma ve Avrupa Spinal Deformite Derneği, SUP izleminin kullanılmaya başlaması ile nörolojik yaralanma oranının %0,7-4'den %0,55'e düştüğünü rapor etmektedir [56]. Ancak literatürde, SUP monitorizasyonunun spinal kord motor yollarda meydana gelen hasarı saptamada başarısız kaldığı olgular bildirilmiştir [57, 58]. Bu sebepten başka monitorizasyon modaliteleri için arayışlar doğmuş ve yakın zamanda geliştirilen motor yolların izlemine sağlayan MUP'lar spinal cerrahilerde monitorizasyonun standart bir parçası haline gelmiştir.

Motor uyartılmış potansiyellerin intraoperatif izlemi beyinden kaslara kadar kortikospinal sistemin bütünlüğünü değerlendirir [8]. Sadece kortikospinal yolları değil, gri cevher ön boynuz hücrelerini de kapsar [47].

Duyusal yollar korunurken motor yolakta meydana gelen hasarın mekanizmasını açıklayan en az iki iyi bilinen sebep söz konusudur. İlki motor ve duyusal kolonun anatomik olarak ayrı olmasıdır. Diğeri ise ön ve arka kolonun damarsal kaynaklarının ayrı oluşudur [46]. Spinal kordun ön 2/3 kısmı ile dorsal kolonun kanlanması farklı olduğundan teorik olarak spinal kordun ön 2/3'ünü besleyen anterior spinal arterdeki akımda azalma olduğunda, bu bölgede hasar oluşurken dorsal kolon sağlam kalabilir. Bu koşulda da SUP kayıtları normal olarak alınmaya devam edecektir [43].

Anterior spinal kord, vasküler anastomotik ağ yapısının daha zayıf olması ve hipoperfüzyon durumunda yeteri kadar kompanzasyon sağlanamaması nedeniyle iskemik hasara daha fazla yatkınlık gösterir. Aynı zamanda motor gri cevher iskemiye dorsal duyusal beyaz cevherdeki nöronlardan daha duyarlıdır. Bu da seçici olarak hasara daha açık olmasına sebep olmaktadır [46].

MacDonald ve arkadaşları kas MUP'larının kord iskemisine kortikal SUP'lara oranla daha duyarlı olduğunu göstermişlerdir. Çünkü alfa motor nöronlar iskemiye bağlı olarak kortikospinal traktuslara göre daha hızlı

bozulurlar [59]. D dalgalarının ise iskemiden en az etkilendiği gözlenmiştir [37, 60].

MUP izleminin ana avantajı her uyarı için gereken zamanın oldukça kısa olmasıdır. Anlamlı bir yanıt yaklaşık bir dakikadan kısa bir sürede elde edilebilir ve cerrahi işlemi kesintiye uğratmadan çok sayıda uyarı uygulanabilir, bir çok defa kayıt yenileme imkanı sağlar. SUP kaydı ise yaklaşık olarak 5 dakika gibi bir zaman gerektirir [43].

MUP kayıtlamanın dezavantajı nöromüsküler blokaj yapan ajan kullanımını en aza indirme veya kullanımından kaçınma gerekliliğidir [61].

2.3.5.1. Motor uyartılmış potansiyel endikasyonları

MUP'lar, nörolojik hasarın oluşabileceği yüksek riskli cerrahi işlemlerde spinal kord motor yollarının SUP'tan bağımsız ve duyarlı izlemini sağlar. Bazı araştırmacılar spinal kordun risk altında olduğu tüm olgularda uygulanması gerektiğini savunurken, diğerleri ise daha selektif davranmayı tercih etmektedirler.

Intramedullar spinal kord tümörleri, servikotorasik spinal deformite, torakal aortik anevrizma ve komplike servikal seviye lezyonlarının cerrahisinde MUP izleminin uygulanması gerektiğine dair güçlü kanıtlar mevcuttur [46].

2.3.5.2. Kayıt

Distal spinal kord veya periferik sinirden kayıt edilen potansiyeller nörojenik potansiyeller olarak adlandırılırken kaslardan elde edilen MUP'lar ise miyojenik potansiyeller olarak adlandırılmaktadır [36].

Hem distal hem proksimal kaslar monitorize edilebilir, ancak distal kaslardan daha istikrarlı uyartılmış potansiyeller elde edilmektedir. Kayıtlar; deri altına veya kas içine yerleştirilen iğne elektrotlarla alt ve üst ekstremitelerin çeşitli kaslarından elde edilir [43].

Subdermal iğne elektrotlarla kayıt çoğu kas için uygundur. Daha derindeki kaslar için monopolar iğne veya çengel uçlu tel elektrotlar

kullanılabilir. Çiftli elektrotlar kasın göbeğine birbirine yakın olarak yerleştirilir. Bu yerleşim şekli diğer uzak kaslardan hacim iletimi riskini en aza indirir. Hastanın hareketleri ile yerinden çıkma riskini önlemek için elektrotlar bantlarla sıkıca sabitlenmelidir. Elektriksel interferansı önlemek için aktif ve referans elektrotlarının kabloları çiftler halinde birbiri üzerinde sarmal şekilde döndürülebilir.

Gerekli durumlarda iğne elektrotlarla ve sünger plug üzerine yerleştirilmiş özel yüzeyel elektrotlarla anal sfinkter kaydı yapılabilir. Üretral sfinkter kaydı için de Foley kateterin üzerine yerleştirilmiş özel yüzeyel elektrotlar mevcuttur [62].

İğne elektrot ile kaydedilen MUP'lar daha çok polifazik görünümlüdür. Puls sayısı ve interstimulus interval arttıkça polifazi daha fazla artar. Yüzeyel kayıta ise daha az polifazi mevcuttur ancak yanıtın amplitütü daha küçüktür.

Nörolojik olarak sağlam hastalarda MUP'lar uygun anestezi ile stabil olarak elde edilebilirken, önceden kortikospinal sistem patolojisi olan hastalarda küçük ve değişken olabilir veya hiç alınamayabilir. MUP amplitüdlere μV ile birkaç mV arasında değişebilir ve iki test arasında büyük oranda değişkenlik gösterebilir.

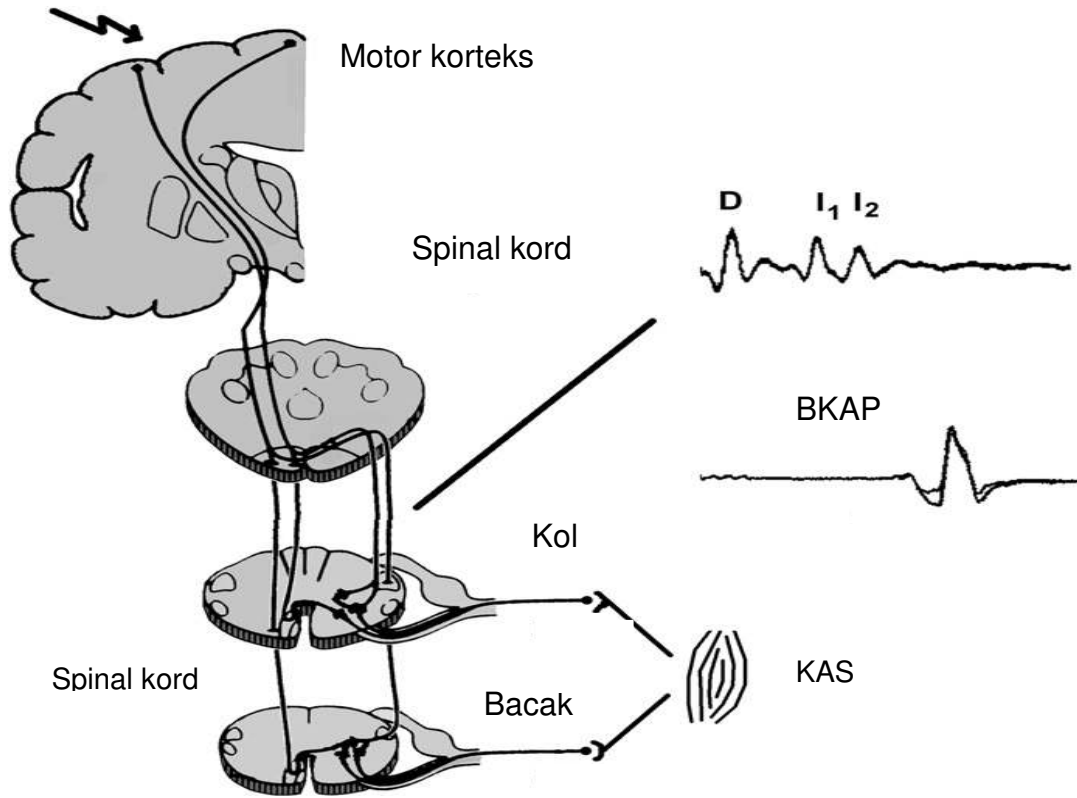
Yüksek sinyal-gürültü oranı nedeniyle ortalama alınmasına gerek yoktur. Genellikle tekli uygulama tercih edilir. Ortalama ile yanıtın alınması teorik olarak ardışık uyarıma bağlı fasilitasyona yol açabileceğinden tercih edilmemekle birlikte yanıtlarda bir miktar stabilite de sağlayabilir [41].

Gelişebilecek motor defisiti saptama açısından kayıt için uygun kasları seçmek önemlidir. Plejik hastalarda uygun kasları seçmemiş olmak bazı hastaların monitorize edilememesine neden olur. İdeal olan, her bir taraftan cerrahi seviyenin altında en az iki kas ve kontrol amaçlı olarak da seviyenin üstünden bir kas seçmektir [46].

Abduktor pollicis brevis veya 1. dorsal interosseus gibi küçük el kasları, üst ekstremité kortikospinal yollarını izlemek için en uygun kaslardır. Bu kaslara en iyi alternatifler ise ön kol fleksör ve ekstansörleridir. Bu kas gruplarının spinal motor nöronlarının kortikospinal yol innervasyonları

zengindir, bu sebeple kortikospinal yolun fonksiyonel bütünlüğünün monitorizasyonu için uygundur. Ancak bu durum proksimal kol veya omuz kasları (biseps, triseps veya deltoid) için söz konusu değildir. Alt ekstremitede ise abduktör hallucis brevis, kortikospinal yol innervasyonu zengin olduğu için en uygun kastır. Buna alternatif olan kas ise tibialis anterior'dur [40]. Diğer kaslar daha spesifik lokalizasyonlar için veya yedek olarak da eklenebilmektedir [46].

Kayıtlar epidural aralıktan, periferik sinirlerden ve ekstremitelerden kaslarından yapılabilir [7] (Resim 2.8).



Resim 2.8: Motor korteks uyarımı ile elde edilen spinal kord ve kas kayıtlı motor uyartılmış potansiyeller. Uyarımla oluşan yanıt ön boynuzda sinaps yapar ve nöromüsküler bileşke aracılığı ile kasa ulaşır ve kasta BKAP olarak kaydedilir. Yanıt spinal korddan epidural olarak da kayıt edilebilir. D dalgasını birçok I dalgası izler [48]

Transkranial tren dalgalarla elektriksel uyarım ve periferik sinir kaydı:

Transkranial elektrik uyarımla verilen tren dalgalarla elde edilen periferik sinir yanıtları gerçek nörojenik MUP'lardır. Ancak kas kaydının yerini alamaz çünkü ortalanması gereklidir. Temporal dispersiyon da distal periferik sinirden MUP kaydına imkan vermeyebilir. Motor kök devamlılığının veya brakial plexus cerrahisi sırasındaki rüptürün değerlendirilmesinde önemli role sahiptir [41].

Transkranial tekli dalga elektriksel uyarım ile spinal D dalgası kaydı:

Transkranial olarak verilen tekli dalga ile kortikal nöronlarda meydana gelen aksonal depolarizasyon D dalgalarını oluşturur [59]. D dalgaları epidural veya subdural alandan kayıt edilebilir. Bunun için cerrahi seviyenin hemen üst ve altındaki ligamentum flavum çıkarılır, bipolar kayıt elektrotları açılan aralıktan uçları kraniale bakacak şekilde epidural alana yerleştirilir [37]. D dalgası, kortikospinal traktusun direkt aktivasyonundan kaynaklanır, kortikospinal yolun hızlı ileten liflerini yansıtır. I dalgası olarak tanımlanan bir veya daha fazla indirekt sinaptik aktivasyon bunu takip eder [37, 39] (Resim 2.9).

Spinal epidural D dalgası kaydı seçici olarak kortikospinal yolun değerlendirilmesine imkan sağlar. Bu yöntemin ana endikasyonu spinal kord tümörlerinin cerrahisidir [41]. İntramedullar spinal kord tümörlerinde D dalgası amplitütlerinin postoperatif nörolojik sonuçlarla yakın ilişkisi olduğu gösterilmiştir [37, 39]. Bazı merkezlerde spinal deformite cerrahisi sırasında da kullanılmaktadır.

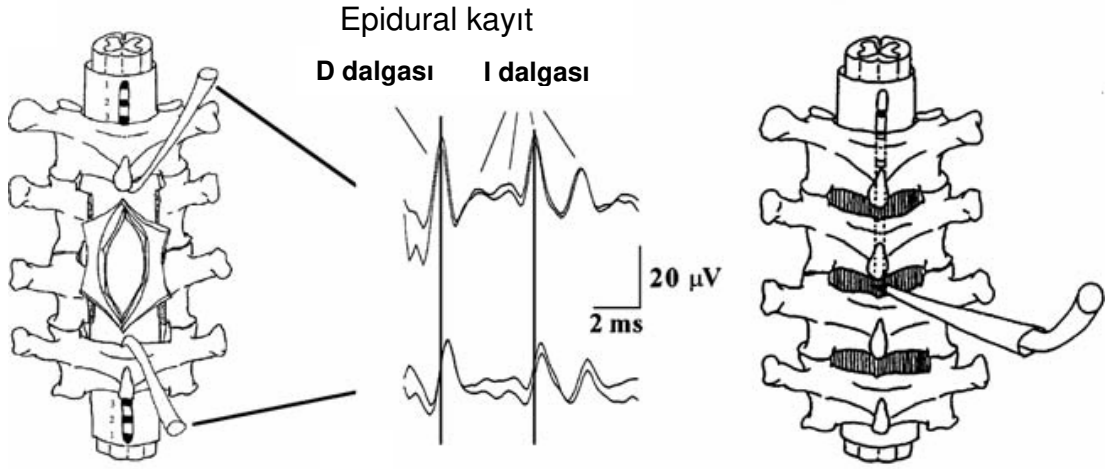
D dalgalarının avantajları; herhangi bir sinaps içermediğinden rölatif olarak anesteziye dirençli olması ve nöromüsküler blokajdan etkilenmemesidir. Aynı zamanda yüksek sinyal-gürültü oranına sahip olduğundan hızlı tekrarlanabilir ve yüksek oranda stabil yanıtlardır. İntramedullar spinal kord ve beyin tümörleri cerrahisinde uzun dönemdeki motor fonksiyon sonuçları ile mükemmel korelasyon gösterdiği bildirilmektedir [8, 37].

Vertebral kolon cerrahisindeki dezavantajları ise, iskemiye traktuslardan çok daha duyarlı olan alfa motor nöronları gösterememesi ve kortikospinal traktusların sonlandığı yer olan lumbosakral bölgede yanıtın çok küçük olmasıdır [8]. Transkortikal uyarımla elde edilen D dalgalarını lateralize edebilmek güçtür, çünkü kayıt orta hattan alınır ve uyarıyı tek hemisferle sınırlamak zordur. Bu sebeple, elde edilen yanıtlar bilateral kortikospinal yolları temsil eder [41]. T11 altından kayıt yapılamaz ve tek ekstremitede gelişen bir hasar belirlenemez [7].

Skolyoz cerrahilerinde ise D dalgalarının yanlış sonuç verebildiği bildirilmiştir. Bazı hastalarda kaslardan elde edilen MUP'lar stabil iken ve nörolojik defisit gözlenmemiş olmasına rağmen D dalga amplitütlerinde %75'e varan miktarda artma veya azalma olduğu gözlenmiştir. Bu değişkenliğin, omurga düzleştirildikten sonra epidural elektrot ile spinal kord arasındaki mesafesinin artması veya azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu hastalarda D dalgalarının subdural kaydı ile bu sorunu çözmek mümkündür.

Epidural teknik anterior girişimler sırasında ve cerrahinin açma ve kapatma sürecinde kullanılamamaktadır. Nadir olmakla birlikte invaziv elektrot kullanımına bağlı komplikasyonların gelişebileceği de göz önüne alınmalıdır [8, 37].

D dalgaları için alarm kriteri olarak amplitütte %50'den fazla azalma kullanılır. D dalgalarında bozulma olduğunda bölgenin irrigasyonu ile yanıtın düzelmesi mümkündür. Bunun cerrahiye bağlı lokal doku hasarı sonucu açığa çıkan ve güçlü bir aksonal blokaaj ajanı olan potasyumun dilue edilmesi ve yok edilmesine bağlı olduğu düşünülür [63].



Resim 2.9: Spinal D dalga kaydı. Solda kateter elektrotların lezyonun kranial ve kaudaline yerleşimi gösterilmektedir. Orta resimde elektrotlardan kayıt edilen D ve I dalgaları ve tepe latansları arasındaki fark vertikal çizgilerle gösterilmiştir. Sağ resimde ise kateter elektrodun ligamentum flavumdan içeriye yerleşimi görülmektedir [40]

Transkranyal tren dalga elektriksel uyarım ile kastan MUP kaydı: Miyojenik MUP olarak da adlandırılır [64]. Beyinden kaslara kadar olan kortikospinal yolları ve alfa motor nöronları değerlendirir. Tren dalgalar alfa motor nöronlarda temporal sumasyon yaratarak kaslarda motor uyartılmış potansiyellere neden olur. Yüksek sinyal-gürültü oranına sahip olduğundan ortalama almak gerekmez, bu sayede anında geri bildirim sağlanabilir [8].

2.3.5.3. Elektrot montajı

Elektrot montajı uluslararası 10-20 EEG sistemine göre yapılmaktadır. Transkranyal uyarım için çok sayıda elektrot yerleşimi kullanılabilir [46]. Elektrotların yerleşim noktaları; C1, C2, C3, C4, Cz ve Cz'nin 6 cm önüdür [63].

Henüz optimal yerleşim için bir fikir birliğine varılamamakla beraber genellikle C1-C2 veya C3-C4 yerleşimleri kullanılmaktadır [46].

Elektrotlar uygun motor korteks alanı üzerine ve santral (Cz) noktadan geçen koronal çizginin 1 veya 2 cm önünde olacak şekilde yerleştirilir. İki yerleşim arasında etkinlik açısından fark gözlenmemekle beraber 2 cm

önüne yerleştirilmesi SUP elektrotları ile aradaki mesafeyi arttırarak uyarı artefaktını azaltabilir. Yüksek uyarı şiddeti ile MUP yanıtlarında uyarı artefaktı oluşuyorsa, SUP elektrotlarının kayıt kutusu ile bağlantısının kesilmesi oluşan bu artefaktı önlemeye yardımcı olabilir [41, 51].

Bazı yazarlar elektrot yerleşimi için C+1 cm bölgesini kullanmakta ve bu noktayı M-motor bölgesi olarak adlandırmaktadır [8].

TES ile daha çok anodun altındaki beyin dokusu uyarıldığından subkortikal motor traktus aktivasyonu en etkili olarak anodun motor alanın hedef bölümünün üzerine veya yakınına yerleştirildiği anodal uyarı ile elde edilmektedir [8, 40, 46].

Montajda ilk elektrot anodu temsil ederken, ikincisi katodu temsil eder. Anot esas uyarıcı elektrottur. Ancak artan akım şiddeti ile katot elektrodu da uyarıcı elektrot haline gelir [40].

Kas yanıtları uyarılan motor korteksin karşı vücut yarısında daha yüksek olduğundan sağ ekstremitte kaslarının kaydı için hemisferler arası C1-C2 veya C3-C4 elektrot yerleşimi kullanılırken, sol ekstremitte kasları için C2-C1 veya C4-C3 kaydı kullanılmaktadır. Ancak; çaprazlaşmanın gözlenmediği hastalarda, anodun altındaki bölge uyarımı ile aynı taraftaki ekstremitte kaslarından elde edilen yanıt en büyüktür [8]. C3-C4 yerleşimi ile yapılan uyarım seçici olarak sağ üst ekstremitte kaslarını aktive ederken, uyarı şiddeti arttırıldığında katot da uyarıcı elektrot görevi görür ve sol üst ekstremitte kasları da uyarılır. Akım şiddeti internal kapsüle penetre olacak kadar güçlü olduğunda farklı derinliklerdeki kortikospinal motor yolların uyarılmasıyla dört ekstremitte kaslarından da yanıt alınabilir. Ayaklara ait olan motor alan interhemisferik fissürde ve derin yerleşimli olduğundan alt ekstremitelerden MUP elde etmek için daha fazla akım şiddeti gerekir. Bu sebeple eş zamanda üst ekstremiteleri uyarmadan sadece alt ekstremiteleri uyarmak güçtür. Ancak bazı araştırmacılar Cz'nin 6 santim önüne yerleştirilen elektrotla seçici olarak sadece alt ekstremitelerin uyarılabileceğini bildirmektedir [40].

Vertikal olarak yerleştirilen elektrotlarla kıyaslandığında koronal planda hemisfere yerleştirilen elektrotlarla uyarım daha etkili olmakla beraber, bu

elektrot montajı ile hastanın uyarıya bağlı hareketi çok daha fazla olmaktadır. Hemisferik C3-Cz ve C4-Cz elektrot yerleşimi ile uyarım daha çok unilateral kortikospinal aktivasyona yol açtığından bu montaj şekli çaprazlaşmanın değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Ancak bazı yazarlar ayak kasları MUP'unda bu montaj yönteminin etkinliğinin daha az olduğunu öne sürmektedirler. Bunun için elektrot montajında öncelikle C3-Cz ve C4-Cz ile çaprazlaşmanın değerlendirilmesi, daha sonra C1-C2 montajı ile C3-C4 montajlarından elde edilen yanıtların birbiri ile karşılaştırılarak en uygun olan montaj yöntemi ile devam edilmesi önerilmektedir [8].

2.3.5.4. Uyarım

MUP en iyi tren dalgalar şeklinde uyarılar verilerek elde edilir. Böylece ön boynuz hücrelerindeki anesteziye bağlı sinaptik inhibisyonu aşmak mümkün olmaktadır [46].

Rostral spinal kordun, motor korteksin direkt uyarımı ve transkranial manyetik ve elektriksel uyarım gibi bir dizi MUP kayıt tekniği geliştirilmiş olmasına rağmen günlük pratikte en sık kullanılmakta olan uyarım yöntemi transkranial elektriksel uyarımdır [65]. Transkranial uyarım hemen hemen tüm spinal kord seviyelerinde motor lifleri nonspesifik olarak aktive eder [46].

Uyarım kortikal, beyin sapı ve spinal kord seviyelerinden yapılabilir:

1) Motor korteks uyarımı: Transkranial veya direkt olarak uyarılabilir.

- a. *Transkranial uyarım*: Kortikal motor alan, kafa derisine yerleştirilen tirbuşon, iğne veya kap elektrotlarla elektriksel olarak veya manyetik uyarımla uyarılabilir. Manyetik uyarım, ameliyathane koşullarındaki uygulama güçlükleri neden ile pek tercih edilmemektedir.
- b. *Direkt uyarım*: Serebral korteks cerrahi olarak açıldıktan sonra grid veya strip yüzeyel elektrotlarla uyarılır. Uyarı parametreleri transkranial uyarımla aynı olmakla beraber uygulanan uyarı şiddeti oldukça düşüktür (20 mA'in altında). En önemli kullanım alanı beynin cerrahileri sırasında kortikal haritalamadır.

Neoplastik, vasküler veya diğer lezyonların rezeksiyonu ile epilepsi cerrahisinde sağlam korteksin rezeksiyonu sırasında nörolojik defisite neden olabilecek bölgelerin saptanarak korunmasında kullanılmaktadır [7, 36].

- 2) Beyin sapı uyarımı: Beyin sapı patolojilerinde kortikospinal yolu lokalize etmek için kullanılır.
- 3) Spinal kord uyarımı: Genellikle epidural olarak yerleştirilen elektrotlarla uygulanır, daha nadiren spinöz çıkıntı veya ligamentum flavuma yerleştirilen elektrotlar da kullanılmaktadır. Uyarıcı elektrotlar cerrahi bölgenin proksimaline yerleştirilirken, kayıt cerrahi seviyenin distalindeki periferik sinir veya kaslardaki elektrotlarla yapılır. Rölatif olarak noninvaziv olan bu yöntemin dezavantajı kortikospinal yol ve dorsal kolonun ortodromik ve antidromik olarak eş zamanlı meydana gelen aktivasyonudur. Bu teknikle elde edilen uyartılmış potansiyelin sadece kortikospinal yoldan kaynaklandığını kesin olarak belirlemek güçtür [7].

Transkranial uyarım için tirbuşon elektrotlar kullanılabilir. Bu elektrotlar düşük impedansları ve uyarı etkinliğini artırması nedeniyle tercih edilmektedir, ancak invazivdir [41]. Bunun dışında subdermal iğne elektrotlar da kullanılmaktadır. EEG kap elektrotları da bazı uygulayıcılar tarafından tercih edilmektedir, bu elektrotların kullanımı oldukça güvenlidir. Ancak bu elektrotlarla düşük impedansı elde edebilmek için tecrübe ve zaman gereklidir.

Fontanelleri halen açık olan bebeklerde mutlaka kap elektrotlar tercih edilmelidir, aksi takdirde tirbuşon ve iğne elektrotlarla yapılacak olan uygulama fontanel penetrasyonuna neden olabilir [40].

2.3.5.4. Uyarı parametreleri

Puls trenler; belirli frekans ve sürede uygulanan ardışık uyarıcı dalgalarıdır [59].

Tren dalga parametreleri olarak uyarılar arası intervalleri 1-5 ms olan 3-9 kare tren dalga kullanılmaktadır. Tren sayısı ihtiyaca göre ayarlanabilir. Alt ekstremite için en uygun sayı genellikle 5 olarak kabul edilmektedir. Dalgalar arasındaki intervaller ise anestezinin derinliğine, uyaran şiddetine, hedef kaslara göre ve hastadan hastaya değişebilmektedir [40, 46].

Omurga cerrahilerinde dalgalar arası intervali 4 ms olan 5'li tren dalgaların ayak kasları için en iyi seçim olduğu gözlenmiştir.

Uyarı; eşik üstü veya uyarılan en son kasın eşliğinde olacak şekilde uygulanır. Ardışık uyarımlar ile yanıtlar fasilite edilebilir [8].

2.3.5.5. Filtre ve ekran ayarları

Kas MUP'ları için filtreler genellikle 1,5-800 Hz arasında seçilir. Süpürme hızı ise 100 ms'dir [63].

2.2.5.6. Motor uyartılmış potansiyel değişimlerinin değerlendirmesi ve alarm kriterleri

Evrensel olarak kabul edilen tanımlanmış anlamlı miyojenik MUP sinyal değişikliği mevcut değildir. Bir hastada istikrarlı yanıtlar gözlenebilirken, diğerinde yanıt elde edilemeyebilir. Aynı hastada optimal koşullarda bile yanıtlar arasında amplitüt ve morfoloji açısından büyük değişkenlik gözlenebilir. Başlangıçta istikrarlı yanıtları olan hasta ile başlangıç yanıtları güçlükle elde edilebilen hastalara aynı sinyal değerlendirme kriterlerinin uygulanması beklenmemelidir.

Sinyal amplitütünün kayıp yüzdesi, sinyalin yokluğu, yanıt elde etmek için gerekli uyarı eşliğindeki artış ve kayıt edilen sinyalin polifazik olması gibi kullanımı önerilen birçok alarm kriteri mevcuttur [46].

MUP latans ölçümleri ise motor hasarın zayıf bir prediktörüdür ve genellikle alarm kriteri olarak kullanılmamaktadır [45].

İstikrarlı yanıtlar için bazı araştırmacılar cerrahi olarak başka bir hasar mekanizması yokluğunda yanıtın tam kaybı veya amplitütte %80'nin üzerinde ani kaybı kriter olarak kullanmaktadır. Ancak zayıf bazal yanıt durumunda ise

alarm kriterleri genellikle yanıtın varlığı veya yokluğu ile sınırlı kalmaktadır [46].

Çoğu raporda primer alarm kriteri olarak bazal değerlere göre %50 ile 80 arasında amplitüt düşüşü kullanılmaktadır [58]. Yanıtlarda kademeli olarak meydana gelen değişiklikler ise daha sıklıkla sistemik faktörlere veya anesteziye bağlı zayıflama fenomenine bağlıdır [9].

Bazı araştırmacılar amplitüt düşmesinin alarm kriteri olarak kabul edilmesi durumunda bir takım problemlerin ortaya çıkabileceğine işaret etmektedirler. Sabit uyarım koşul ve parametreleri kullanılmasına rağmen denemeler arasında MUP yanıt amplitütleri oldukça fazla değişkenlik gösterir. Amplitütteki azalmayı saptayabilmek için güçlü uyarı şiddeti uygulanarak maksimal bir motor yanıtın elde edilmesi gerekir. Bu problemler nedeniyle bazı monitorizasyon ekipleri motor defisit varlığını saptamak için var/yok kriterini benimsemektedirler [58].

MUP izleminde var/yok kriteri uygulandığında yanlış pozitiflik oranının düşük olduğu rapor edilmiştir. Ancak bu teori D dalga kaydı ile kombine izlem yapıldığında daha doğrudur. Epidural kayıtlar, miyogenik potansiyeller kaybolduğunda cerraha motor yolların bütünlüğü konusunda bilgi verme avantajı sağlar. D dalgasının amplitütü %50'den fazla azalmadığı sürece hasar genellikle geri dönüşümlüdür [66].

Kullanılan diğer bir MUP alarm kriteri ise "eşik seviye" yaklaşımıdır. Bu yöntemde ardışık transkranyal uyarımla her bir hedef kasta minimal yanıt oluşturabilmek için gerekli minimal uyarı şiddeti saptanır. Bu değer hedef kasın eşik seviyesi olarak adlandırılır. Bu teorinin temeli; eşik seviye transkranyal ardışık uyarım ile ilk olarak kortikospinal traktusun hızlı ileten geniş çaplı liflerinin ateşlenmesine dayanır. Bu lifler mekanik hasara en duyarlı olan liflerdir ve bu özellik eşik seviye tekniği ile monitorizasyonu ideal hale getirir.

Bazı çalışmalarda olguların birçoğunda yanıtın tamamen kaybolduğu kaslarda dakikalar veya saatler öncesinde eşik seviyede belirgin artış

meydana geldiği gözlenmiştir. Ancak 50 V'luk uyarı şiddeti dalgalanmalarının herhangi bir klinik problem olmadan da gelişebileceği bildirilmektedir [58].

Genel olarak kabul gören temel bilgiler ışığında geri dönüşümsüz MUP kaybı, yeni kalıcı postoperatif nörolojik değişikliğinin bir göstergesidir. Geri dönüşümlü veya dönüşümsüz MUP amplitüt azalması veya potansiyel kayıpları geçici ya da kalıcı motor defisite neden olabilir [66].

2.3.5.6. Motor uyartılmış potansiyel komplikasyonları

MUP işleminin en sık komplikasyonu transkranial elektriksel uyarımın tetiklediği masseter kasının kontraksiyonuna bağlı gelişen dil ve dudakların laserasyonudur. Bu oranın %0,3 civarında olduğu bildirilmektedir. Güçlü uyarımlar diş ve mandibula kırıklarına da neden olabilir. Bu yaralanma riskleri yumuşak bir airway kullanımı ile önlenabilir veya azaltılabilir [8, 59].

Transkraniyal uyarım ekstremiteler veya gövde kaslarında kontraksiyona bağlı harekete neden olur. Bu vücut hareketi cerrahinin kritik bir aşamasında beklenmedik bir zamanda ortaya çıktığında cerrahi travmaya neden olabilir. Bu hareketin miktarı istikrarlı kas yanıtı sağlayan en düşük uyarı şiddetinin kullanılması esasına dayanan “eşik seviyede uyarı” protokolü ile azaltılabilir [59, 61]. Ancak bu teknik kullanılırken bile cerrahinin kritik aşamalarında vücut hareketine bağlı oluşabilecek hasarı önlemek için uyarı vermeden önce cerrah bilgilendirilmelidir [43]. Ortopedik cerrahilerde genellikle hareketler sorun yaratmazken nöroşirürjikal operasyonlarda hasara yol açma riski daha fazladır [59]. Özellikle anterior yaklaşımlı servikal cerrahi sırasında boyun kas kontraksiyonları sorun yaratabileceğinden uyarının doğru zamanlaması ve cerrahi ekiple iyi iletişim kurulması önemlidir [8].

Tren dalgalarla transkranial uyarım sırasında kardiyak aritmi veya kan basıncı değişiklikleri gözlenmekle birlikte aradaki ilişki belirsizdir. Kardiyak artimilerin EKG’de gözlenen, transkranial uyarımın neden olduğu artefaktlardan ayırt edilmesi de önemlidir [41]. Şu ana kadar 1 olguda kardiyak aritmi bildirilmiş olup bunun da uyarım ile belirgin bir ilişkisi

gösterilememiştir [59]. Akımın hipotalamus ve beyin sapı gibi derin yapılara penetrasyonunun olası mekanizma olduğu düşünülmektedir [41].

Beynin elektriksel uyarımı anormal nöronal deşarj serilerini tetikleyebilir ve bir süre devam ederse nöbete ilerleyebilir. Nöbet gelişimini etkileyen faktörler; uyarı parametreleri, anestezi, hastaya ait predispozan durumlar ve uyarımla ilişkisi olmayan spontan nöbet ihtimalidir. Transkortikal uygulanan kısa tren dalgalar şeklindeki elektrik uyarımı çok nadiren nöbete neden olabilir. Ancak kısa ve uzun süreli dalgalarla transkranial elektriksel uyarım ve eşik üstü ile eşik değerde uyarım kullanılması arasında güvenlik açısından fark saptanmamıştır. Mac Donald, İONM sırasında 15000 olgudan 5'inde nöbet gözlediğini bildirmiştir [59]. Oldukça nadir bir komplikasyon olması ve yine nadiren anestezinin de nöbet oluşturabilmesi göz önüne alındığında nedenin uyarı mı anestezi mi olduğu açık değildir [41]. Uyarım sonrasında saçlı deriye yerleştirilen SUP elektrotlarından yapılan 20-30 sn süreli EEG kaydı ile nöbet varlığı kontrol edilebilir [51]. Schwartz, transkranial elektriksel uyarımın epilepsili hastalarda kullanımının güvenli olabileceğini ancak yakın başlangıçlı nöbeti olan hastalarda uygulanmamasını önermektedir [67].

Spinal D dalga kaydı sırasında yerleştirilen epidural elektrotlara bağlı gelişecek radiküler irritasyon, epidural hematoma veya infeksiyonlar ciddi komorbiditeye sebep olabilir. Literatürde bildirilen olgu sayısı az olup bunların büyük kısmı travmatik yerleşime veya pıhtılaşma bozukluklarına bağlıdır. Antikoagülasyon varlığında bile gerekli önlemler alındığı takdirde epidural kateterizasyon güvenli kabul edilmektedir [59].

Aşırı elektriksel uyarım nadiren saçlı deri yanıklarına yol açabilmektedir [41].

Kısa süreli tren dalgalarla direkt veya transkranial elektriksel ve transkranial manyetik uyarımın histolojik nöronal bir hasara yol açmadığı bildirilmektedir [59].

2.3.5.7. Motor uyartılmış potansiyel kontrendikasyonları

MUP izlemi; epilepsili, kortikal veya kafatası lezyonu olan, kafa içi basıncı artmış, cerrahi olarak implante edilmiş intrakranial cihazı, derin beyin stimulator elektrotları, kohlear implantı, kardiyak pacemakerı veya diğer implante pompası bulunan hastalarda kontrendike olarak kabul edilmektedir [59].

Hedef ekstremitede pleji varlığında başarılı MUP testi elde edilemeyeceğinden gerekliliği azaltmaktadır.

2 yaşın altındaki hastalarla ilişkili olarak çok az veri bulunmakla beraber, uygulama yapmadan önce kafatası stabilitesi mutlaka göz önüne alınmalıdır [46]. Fontanelleri henüz kapanmamış olan 18 ay altındaki infantlarda penetrasyon yaralanmasına neden olmamak için iğne veya tirbuşon yerine yüzeysel elektrotlar kullanılmalıdır [39].

2.3.6. Pedikül vidası yerleşimi sırasında tetiklenmiş EMG monitorizasyonu

Pedikül vidası yerleştirilirken, dar olan pediküle delik körlemesine açılır. Kadavra çalışmalarında vidaların %20'sinin yanlış yönlendiği ve pedikülün kemik duvarı dışında olduğu gözlenmiştir [62]. Castro ve arkadaşları ise yanlış yerleşimli vida insidansını %40 olarak bildirmişlerdir [68]. Klinik çalışmalar ise kötü yerleşimli pedikül vidasının yarattığı sinir kökü hasarına veya irritasyonuna bağlı postoperatif semptomların %5 ile 10 olguda saptandığını göstermiştir.

Vidaların yerleşimi intraoperatif floroskopi veya grafilerle belirlenebilir ancak çekimdeki teknik kısıtlılıklar sebebiyle her zaman güvenilir olmayabilir. BT daha güvenilir bilgi sağlamasına rağmen ameliyat esnasında görüntü almak oldukça güçtür. Cerrahın medial duvar inspeksiyon ve palpasyonu yanlış yerleşimli vidanın tespitinde altın standart test olmasına rağmen, bu işlem her vida için laminektomi yapılmasını gerektirmektedir.

Tetiklenmiş EMG monitorizasyonu ile pedikül vidasının yerleşimini kısa sürede belirlemek mümkündür. Radyografik görüntüleme ile kötü yerleşimli

delik veya vida %63 duyarlılıkla tespit edilebilirken tetiklenmiş EMG'nin duyarlılığı %90'ın üzerindedir.

Uygun açılan delik veya düzgün yerleştirilmiş vida ile sinir kökü arasında pedikülün kortikal kemik duvarı bulunur. Duvar elektrik akımının geçişine karşı yüksek dirençli bariyer görevi görür ve daha yüksek uyarı şiddeti ile kas yanıtı elde edilebilir. Ancak delik veya vida pedikülün medial duvarını perfore etmişse, sinir kökü elektrik ile direkt olarak uyarılacağından düşük uyarı şiddeti ile ilgili miyotoma ait kastan BKAP elde edilir. 5 mA'in altında uyarı şiddeti ile yanıt alınıyorsa pedikül vidasının medial duvarı perfore ettiği düşünülür. Pedikül vidası veya delik için uyarı eşiği 4 mA'in altında ise vida çıkarılmalı ve yeniden yerleştirilmelidir. Eğer uyarı eşiği 4 ile 6 mA arasında ise sınır değer olarak kabul edilip daha dikkatle inspeksiyon yapılmalıdır.

Uyarı monopolar elektrotla yapılır, referans iğne elektrot ise yara yerine yerleştirilir. Stimulatör direkt olarak pedikül deliğinin içine ve deliğin yarı mesafesi kadar içeri sokulur. Elektrot ucu böylece sinir köküne en yakın olur. Eğer elektrotun tümü içeri sokulursa kökten uzaklaşıp vertebra cisminin derinine yerleşir ve bu noktada sinir kökü daha yüksek uyarı şiddeti ile uyarılacağından yanlış negatif sonuca neden olabilir. Vidalar test edilirken stimulatör ile vida arasında yumuşak doku olmamasına dikkat edilmelidir [38]. Eğer pedikül duvarında perforasyon düşünülüyorsa vidaya yeni giriş deliği açılabilir veya daha laterale doğru vidanın yönü değiştirilebilir [68]. Deliğin doğru şekilde yeniden yönlendirilmesi, sıklıkla kemik fragmanlarını dışarı iterek pediküler perforasyonun da kapanmasını sağlar.

İleri derecede osteoporoz nedeniyle ince kortikal kemik duvarından yanlış pozitif sonuçlar ortaya çıkabilir. Daha önceden radikülopatisi olan hastalarda ise BKAP elde edebilmek için gerekli olan uyarı şiddeti daha yüksek olacağından yanlış negatif sonuçlar elde edilebilir. Total nöromüsküler blokaj yapılan hastalarda da bu yöntem güvenle kullanılamaz [62].

2.3.7. Sürekli EMG kaydı ile sinir kökü monitorizasyonu

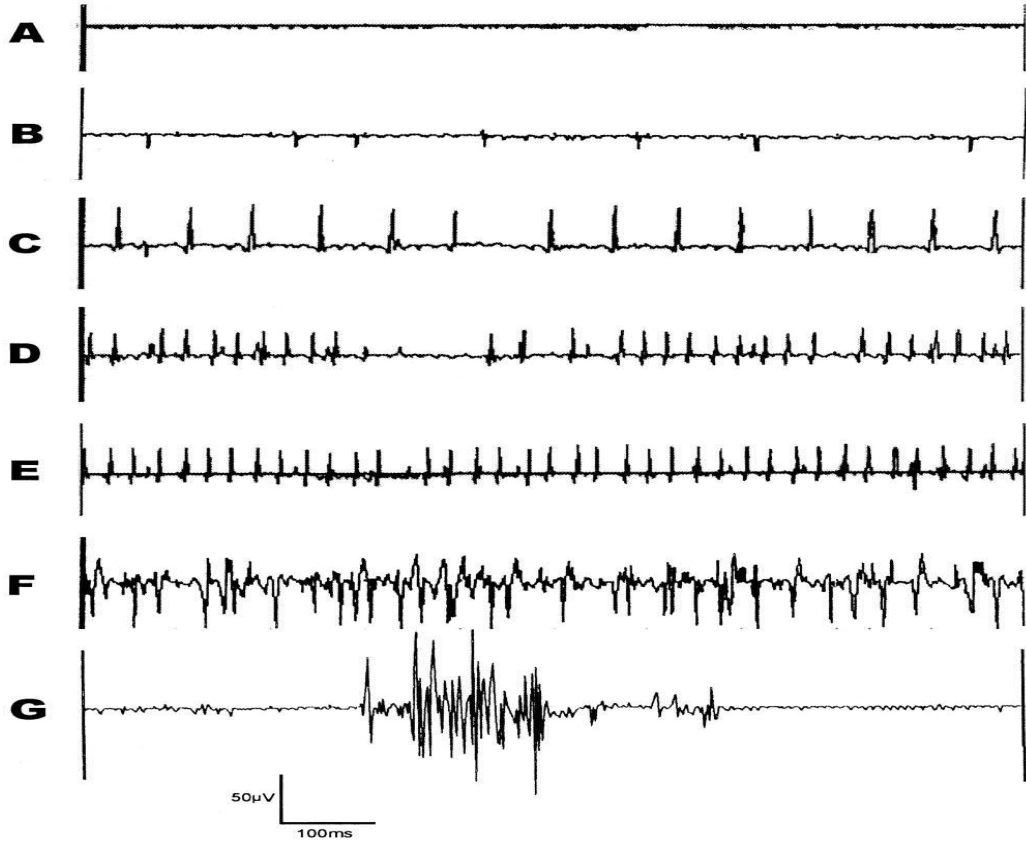
SUP ve MUP'lar spinal kord monitorizasyonunda en sık kullanılan İONM teknikleri olmasına rağmen spinal sinir kökü hasarlarının tespitinde duyarlı değildir. SUP'lar spinal kordun birçok segmentinden gelen sinyallerin toplamını yansıtır, bu sebeple sinir kökü hasarında tamamen değişmeden kalabilir. Tek bir kastan kaydedilen MUP'lar ile de diğer miyotomları etkileyen sinir kökü hasarı saptanamaz. Normal SUP ve MUP'lara rağmen akut radikülopati gelişen birçok olgu bildirilmiştir [62].

Dermatomal SUP'ların (DSUP), sinir kökü hasarını saptamada daha duyarlı olduğu gösterilmiştir ancak elde edilmesi teknik olarak güçtür. Amplitütü küçüktür. Aynı zamanda yanıtı pek çok kez tekrarlayarak ortalamaya ihtiyaç vardır, bu da yanıtın tekrar edilebilme zamanını uzatır. DSUP'lar sadece duyusal dorsal kökün fonksiyonel bütünlüğünü göstermektedir [62, 69].

Sürekli EMG izleminin sinir kökünün mekanik manipülasyonunu tespit edebilme duyarlılığı yüksek iken hasarı tespit etme özgülüğü ise düşüktür. Geri dönebilir hafif düzeyde bir hasarın tespiti, geri dönüşümsüz postoperatif nörolojik defisiti tahmin etmekten daha önemli olduğundan duyarlılık İONM'de özgülüğe tercih edilmektedir. Sürekli EMG'nin duyarlılığının yüksek olması hafif düzeydeki hasarların saptanabilmesini sağlar [62].

Normal sürekli EMG yanıtı, aktivasyonun yokluğudur. Patolojik sürekli EMG aktivitesi 2 temel paternde gözlenir (Resim 2.10):

- 1) Fazik veya patlayıcı patern; sıklıkla polifazik olan tek bir potansiyel veya ardışık olmayan asenkron potansiyeller
- 2) Tonik veya tren aktivite; uzamış çoklu veya ardışık senkron periodları olan gruplaşmış motor ünite deşarjları [50]



Resim 2.10 Değişik derecelerdeki sürekli EMG aktivitesi. A. Sessiz EMG, B-F. Artan yoğunluktaki EMG tren dalgaları, G. Birçok aksonun eş zamanlı depolarizasyonu ile oluşan patlayıcı tarzda EMG aktivitesi [45]

Sinir kökünün mekanik künt travmasının neden olduğu depolarizasyon sinirden aşağı doğru iletilir, nöromüsküler bileşkeden geçerek kasta uyartılmış bir motor ünite potansiyeli (MÜP) meydana getirir. Minör sinir kökü manipulasyonları kısa patlayıcı MÜP'lere neden olur. Patlayıcı potansiyeller nadiren nöral travmayı yansıtır. Bu tip potansiyeller genellikle çekiştirme, yıkama, elektrokoter ve ıslak tamponlara bağlı direk sinir travması ile ilişkilidir. Uzun süreli traksiyon ve kompresyon gibi daha ciddi mekanik kök hasarları ise nörotonik deşarjlar olarak tanımlanan yüksek frekanslı, uzun süreli tren dalgalar şeklinde MÜP'lere neden olur. Ardışık boşalım ve myokimik deşarjlar ise oldukça şiddetli kök hasarının göstergeleridir. Mekanik olarak elde edilen patolojik aktivite dakikalar içinde sonlanabilir [43, 50, 62].

İntraoperatif EMG aktivasyonu yoksa yeni nörolojik defisit gelişmesi beklenmemektedir [69]. Ancak sürekli EMG künt mekanik irritasyona ve motor sinirlerin hasarına duyarlı olmasına rağmen, keskin sinir kesisinde bozulmayabilir. Akut sinir kesisinde sinirin distal parçası mekanik veya elektrik uyarımla halen aktive edilebilir. Devam eden bu potansiyeller sinir kökünün bütünlüğünün devam ettiğini düşündürebilir. Mekanik travma anormal motor sinirlerde nörotonik deşarjlara daha az neden olduğundan, önceden var olan lumbosakral radikülopati durumunda da operasyon sırasında yeni gelişen bir hasar tespit edilemeyebilir [62, 69]. İskemi gibi irritasyon yaratmadan gelişen sinir hasarında EMG aktivitesi gözlenmeyebilir. Ek olarak iletim bloğu geliştirse, bunun proksimalindeki bir irritasyon da EMG aktivitesi yaratmayacaktır.

EMG aktivitesinin yoğunluğu ve süresi, ilişkili nöral irritasyonun derecesini yansıtır. Ancak diğer başka sebepler de kas aktivitesine neden olabilir. Kas tonusu, yüzeysel anesteziye bağlı olarak istemli hareketin varlığı, ozmotik irritasyon (ör. hipotonik sıvıyla yıkama), ısı irritasyonu (ör. soğuk veya sıcak sıvıyla yıkama) veya önceki kas hastalığına bağlı olan spontan aktiviteler (denervasyon veya miyopati) bu sebepler arasındadır. Bu durumda cerraha bilgi verilerek o andaki cerrahi işlem ile ilişkisi değerlendirilmelidir [45].

Cerrahi sırasında yanlış alarma sebebiyet vermemek için nörotonik deşarjlar, sinir hasarı olmadan oluşan EMG bulgularından ayırt edilmelidir. Operasyon öncesi radikülopatisi olan hastalarda spontan fibrilasyon potansiyelleri gözlenebilir. Yüzeysel anesteziye bağlı istemli MÜP'ler de gözlenebilir, ancak bunlar yarı ritmik ve genellikle iki taraflıdır [62].

Ekstremiteler kaslarının monitorizasyonu S2 kök seviyesine kadar bilgi sağlar. Daha alt sakral kökleri veya konus medullaris risk altında bırakan cerrahilerde ise anal ve üretral sfinkter fonksiyonlarının korunması için sfinkter kasları da mutlaka monitorize edilmelidir [62].

Bazal kayıtlar cerrahi başlamadan önce var olan kök irritasyonunu tespit etmek için yapılır. Daha sonra ise cerrahi boyunca sürekli kayıt alınır.

Sürekli EMG monitorizasyonu için sıklıkla yüksek frekans filtresi 10-30 kHz, alçak frekans filtresi 2-30 Hz olarak seçilir. Alçak frekansın 50 Hz'in üzerinde, yüksek frekansın 3 kHz'in altında tutulmasından kaçınılmalıdır. Ekran süresi 200 ms-5 sn arasında seçilir [50].

2.3.8. F-yanıtı, H refleksi, Bulbokavernöz refleksi

TkMUP motor nöron havuzunun yalnızca %4-5'ini aktive eder [70]. Motor aksonların kalan yaklaşık %96'lık diğer kısmı hakkında ise bilgi vermez [50]. F-yanıtı, H refleksi ve bulbokavernöz refleksi testleri ise segmental kord aktivitesi hakkında bilgi vererek uzun motor yolların indirekt olarak değerlendirilmesine yardımcı olabilmektedir [8]. H refleksi motor nöron havuz fonksiyonlarının %20-100'ünü değerlendirirken F yanıtı %1-5'ini gösterir. Bu teknikler aynı, farklı veya çakışan motor nöron gruplarının fonksiyonlarını ölçebilir.

H refleksi ve F yanıtları mevcut nörolojik defisit nedeniyle SUP ve MUP'ların elde edilemediği hastalarda kullanılabilir. H-refleksi ve F-yanıtlarının SUP ve MUP'larla birlikte kullanılması, spinal kord uzun traktus fonksiyonlarının yanı sıra kompleks koordine motor davranışın kontrolünü sağlayan spinal kord sistemlerini de değerlendirir [70].

H-refleksi: H-refleksi dorsal ve ventral sinir köklerinin fonksiyonlarını gösterebilir. H-refleksi monosinaptik bir reflekstir. Periferik sinirin elektriksel uyarımı sonucu geniş çaplı 1a afferent sinir lifleri aktive olur. Sinaptik refleksi arkla motor nöronlar aktive olur ve kas yanıtı meydana gelir.

Refleks en kolay posterior tibial sinirin popliteal fossada uyarılması ile gastroknemius kasından kaydedilir. Uyarı hızı 0,5 ms olan, 1 ms süreli uyarı kullanılır. Uyarı şiddeti yavaş yavaş artırılır. Düşük şiddetteki uyarı motor liflerden önce 1a liflerini uyarır, böylece düşük uyarı şiddetinde H-refleksi M dalgasından önce ortaya çıkar. Bu refleks segmental S1 afferent ve efferent aktivitesi ile meydana gelir [70]. Bu yöntemle refleks seviyesindeki gri cevheri değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle kortikospinal,

rubrospinal, vestibulospinal ve retikülospinal sistemlerin inen yollarındaki değişiklikler H-refleks yanıtını etkileyebilir. Yanıtın devamlı olarak kaybolması, yeni motor defisit gelişimi ile güçlü oranda ilişkili bulunmuştur [71].

F yanıtı: Periferik sinirin efferent liflerinin antidromik olarak supramaksimal uyararla uyarılması ile ön boynuz gri cevhere giren motor aksiyon potansiyelleri daha sonra aynı motor liflerden ortodromik olarak iletilir ve kastan F yanıtı kaydedilir. F yanıtı herhangi bir kastan elde edilebilir [70].

Bulbokavernöz refleks (BKR): Bu oligosinaptik refleksin afferent yolu pudendal sinirlerin duyusal liflerinden oluşurken, efferent yolunu ise pelvik taban kasları, bulbokavernöz ve eksternal anal sfinkter kasları oluşturur. BKR S2-S4 spinal kord segmentlerine ek olarak motor ve duyu sakral sinir köklerinin fonksiyonel bütünlüğünü de değerlendirir.

Bu refleks genel anesteziye özellikle halojenli ajanlara oldukça duyarlıdır, kas gevşeticilerle yanıt kaybolur [39].

2.3.9. Kasların seçimi

İntraoperatif monitorizasyon için cerrahi sırasında risk altında olabileceği düşünülen sinir köklerine uygun kasları seçmek, olası spinal kord ve kök hasarını saptamak ve güvenilir bir izlem yapabilmek için gereklidir (Tablo 2.4).

Çoğu kas iki veya daha fazla ardışık sinir kökü tarafından innerve edildiğinden sinir kökü hasarının doğru lokalizasyonu aynı anda birçok kastan kayıt yapılması ile sağlanabilir [62].

Tablo 2.4: Spinal sinir kökleri için elektromiyografik kas kayıt noktaları [49, 72]

Risk altındaki sinir kökleri	Uygun kaslar
C2-C4	Sternokleidomastoid
C5, 6	Biseps, deltoid
C6, 7	Fleksör karpi radialis
C8, T1	Abduktor pollisis
T2-6	Spesifik interkostal kaslar
T5-12	Rektus abdominis'in spesifik alanları
L1	İliopsoas
L2	Adduktor longus
L2-4	Vastus medialis, lateralis
L4-S1	Tibialis anterior
L5-S1	Peroneus longus
S1-2	Medial gastroknemius, abduktor hallusis
S2-4	Eksternal anal ve üretral sfinkter

2.3.10. İntraoperatif nörofizyolojik monitorizasyonda artefakt nedenleri

İntraoperatif monitorizasyon sırasında artefakta yol açabilen pek çok sebep vardır. Operasyon odasındaki elektrikli cihazlardan yayılan 50 Hz alternatif akımına bağlı elektromanyetik interferans ve teknik nedenler en sık gözlenen sebeplerdir [8, 36].

Elektrotların impedanslarının yüksekliğinden kaynaklanan artefaktlar için elektrot bağlantıları gözden geçirilmelidir. Elektrot kablolarının çiftler halinde birbirine burgu şeklinde dolanması ve diğer elektrotlardan ayrılması artefaktı önleyebilir. Elektrot impedanslarının 5 kOhm altında olması istenir. Yüzeyel elektrot kullanıldığında hafif deri abrazyonu ile direnç azaltılabilir. Anormal kalınlıkta veya ödemli ayak bileği olan hastalarda tibial siniri uyarmak için iğne elektrot daha iyi bir tercihtir [8, 44].

Elektrokoter kullanımı yüksek amplitütlü gürültüye neden olarak amplifikatörü bloke edebilir.

Mikroskoplar, negatoskop, operasyon masası, ısıtıcılar, röntgen cihazı gibi operasyon odasındaki diğer elektrikli cihazlar ve hastanın vücuduna veya yakınına yerleştirilen metal cisimler (spinal enstrümanlar, metal baş destekleri) de potansiyel artefakt nedenleri olabilir [35].

2.3.11. Hasta güvenliğinin sağlanması

Hastaya sadece bir tek toprak elektrot takılmalıdır. Hasta üzerine yerleştirilen tüm elektrikli cihazlar EMG makinesi ile aynı toprak devresini paylaşmalıdır. Akım transferine neden olmamak için EMG cihazı hastaya herhangi bir elektrot takılmadan önce açılmalı ve ancak elektrotların bağlantısı kesildiğinde kapatılmalıdır. İğne elektrotlar koterin topraklayıcı plakasının yakınına veya koter-toprak arasındaki yol üzerine yerleştirilmemelidir [62].

Servikal myelopatili hastalarda pozisyonlama sırasında boyun ekstansiyonu yanıtların kaybolmasına neden olabilir. Başın yeniden pozisyonlaması yanıtlarda düzelmeyi sağlayabilir. Servikal cerrahilerde üst ekstremité yanıtlarının bozulması sıklıkla radyografi sırasında alt servikal bölgeyi görüntüleyebilmek amaçlı omuzların aşağı doğru bastırılması sonucu gelişen brakial pleksusun nöropraksisinden kaynaklanır [43]. Schwartz 3806 hastanın anterior servikal cerrahisi sırasında pozisyonlamaya bağlı olarak gelişen nörolojik yaralanma insidansını %1,8 olarak bildirmiştir. Bu nörolojik yaralanmaların çoğunu (%65) omuza uygulanan baskıya bağlı gelişen brakial pleksusun hasarı oluşturur, bunu ikinci sırada boyun ekstansiyonu (%19) izler [67].

2.3.12. Alarm kriterleri

Genel olarak intraoperatif monitorizasyonda uyarılmış potansiyeller için alarm kriterleri olarak amplitütte %50 azalma ve latansta %10 gecikme kabul görmektedir. Ancak demyelinizasyonun belirtisi ve kronik bir sürecin

bulgusu olduğundan omurga cerrahisi sırasında latans gecikmesi beklemek anlamlı değildir. Akut iletim bloğu veya nöral kayıp ise SUP ve MUP amplitütlerinin patolojik düşüşünün temel nedenidir. Bu sebeple monitorizasyonda amplitüt değişikliği esas alınması gereken temel kriter olarak kabul edilmektedir.

Denemeden denemeye SUP yanıtlarının amplitütleri %30'dan fazla değişkenlik gösteriyorsa ve tekrarlanabilir yanıtların alınması güçse, gerçek amplitüt değişim miktarını kestirmek oldukça zor olacaktır. Bu durumda potansiyelin amplitüdünden çok yanıtın kaybolmasının esas alınması daha güvenilir bir kriterdir. SUP yanıtlarının tekrarlanabilirliğinin yüksek olması ve üst üste örtüşen yanıtlar, amplitütlerdeki değişimleri doğru olarak belirleyebilmek açısından önemlidir.

Alfa motor nöronların tabiatından kaynaklanan uyarılabilirliğindeki dalgalanmalar nedeniyle kas MUP'ları denemeler arasında belirgin değişkenlik gösterir. Öte yandan duyarlılığı yüksek olduğundan patolojik amplitüt düşüşleri, kortikospinal sistem fonksiyonlarındaki kesintiyi gerçekte olduğundan daha fazla göstermektedir. Bu nedenle yanıtların kaybolması veya bir önceki MUP'a göre belirgin bir zayıflama anlamlı bir alarm bulgusu olarak kabul edilmektedir. Yanıtın kaybolması aşırı gecikilmiş bir uyarı olarak düşünülmemelidir, zira düzeltme işlemi sonrasında genellikle tekrar belirir.

MUP'da uyarı eşiğinde 100 V'u aşan yükselme veya uzun süreli polifazik potansiyellerin kısa süreli bifazik potansiyellere dönüşmesi gibi daha hassas alarm kriterleri de önerilmekle beraber bu yaklaşımlar halen tartışmalıdır.

Başlangıç bazal yanıtları hastaya pozisyon verilmeden önce alınmalıdır. Bu sırada optimal uyarı parametreleri belirlenir. Elektrokoterle insizyon yapıldıktan sonra bazal yanıtlar yenilenmelidir. Operasyon sırasında sistemik nedenlerle potansiyel düşüşü meydana geldiyse bazal yanıtlar tekrar yenilenebilir.

Monitorizasyonun etkinliğini engellemediği sürece sistemik faktörlere bağlı değişikliklerin cerrahi ekibe bildirilmesi gereksizdir. Böyle bir durumda anestezi ekibinin de yardımı alınmalıdır. Teknik nedenler cerrahi yönden

alarm verilmeden düzeltilmelidir. Verilen yanlış alarmlar hastanın cerrahi sonucunu ve nörolojik durumunu etkileyebileceğinden ve cerrahın güvenini ciddi ölçüde azaltacağından, bunu önlemek için çaba harcanmalıdır [8].

2.3.13. İntraoperatif monitorizasyonu etkileyen fizyolojik ve sistemik faktörler

Sistemik faktörlere bağlı kortikal SUP ve MUP değişiklikleri hemen her cerrahide gözlenmektedir [73].

Sistemik etkiler jeneralizedir ve kademeli değişme eğilimindedir. Buna bağlı olarak dört ekstremitedeki değişiklikler hemen hemen paraleldir. Torakal ve lumbosakral cerrahilerde üst ekstremitte yanıtlarının izlemi kontrol sağlamaktadır. Servikal cerrahilerde ise spinal bütünlük bozulduğunda dört ekstremitte de etkilenir, bu da sistemik etkilerden ayırt edilemeyebilir. Bu durumda yanıtlarda gözlenen kademeli değişiklik uzun dakikalar veya saatler içinde meydana gelmişse bunun sistemik etkilerden kaynaklanıyor olması daha olasıdır. Patolojik uyartılmış potansiyel düşüşü ise saniye veya dakikalar içinde gerçekleşir [8].

Sistolik ve diastolik kan basıncı, kalp hızı, parsiyel alveolar karbondioksit basıncı (PaCO_2) ve vücut ısı gibi pek çok fizyolojik faktör nöronal fonksiyonları değiştirerek uyartılmış potansiyelleri etkileyebilir. Isı, PaCO_2 ve kalp hızının SUP latansı ve amplitüdü üzerine etkisi daha fazla iken kan basıncı ise daha az etkiye sahiptir. Diastolik kan basıncı değişiminin sistolik kan basıncına göre yanıtlar üzerinde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir [73].

Kan akımı: Birçok çalışma bölgesel beyin kan akımı ile kortikal SUP yanıtları arasında ilişki bulunduğunu göstermiştir. İleri derecede azalmış beyin kan akımı kortikal yanıtların azalmasına veya kaybolmasına neden olur [43].

Hipotansiyon: Kan basıncındaki ılımlı dalgalanmalar, beyin ve spinal korda otoregülasyon sayesinde sağlanan sabit kan akımı nedeniyle normalde uyartılmış potansiyellerde değişmeye neden olmaz. Ancak anestezinin etkisi

ile birlikte kan basıncı azaldıkça uyartılmış potansiyel amplitütleri azalma gösterebilir.

Vücut ısısı: Ilımlı hipotermi latans uzamasına neden olurken amplitütler üzerindeki etkisi daha azdır. Omurga cerrahisinde uygulanmamakla beraber derin hipotermiler ise yanıtların kaybolmasına neden olabilir [8].

Hemoglobin konsantrasyonu: Hemoglobinde fazla miktardaki düşüş SUP yanıtlarını etkilerken MUP'lar üzerindeki etkilerini gösteren çalışma yoktur. Ancak fazla miktarlardaki kan kayıpları ve sıvı açıkları saçlı deri ödemeine bağlı impedans artışına ve uyarı eşiğinde yükselmeye neden olabilir [9].

Anestezi etkisi: Anestezinin artışı amplitütleri düşürebilir ancak stabil anesteziye rağmen bile açıklanamayan uyarı eşiğinde yükselme, kortikal SUP amplitütlerinde düşme ve MUP'ların progresif kayıpları sıklıkla meydana gelmektedir [8].

2.3.14. Anestezi yaklaşımı

Cerrahi prosedür için gerekli olan anestezik değerlendirmenin yanı sıra intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon uygulanacak hastalarda kullanılacak anestezik rejimlerin, güvenilir ve stabil yanıtların elde edilebilmesi için de değerlendirilmesi gerekir. Bu da anestezi ekibi ile monitorizasyon ekibinin uyumlu işbirliği ile sağlanabilir.

İdeal şartlarda anestezi rejimleri, elde edilen yanıtın kalitesine göre prosedürün erken aşamalarında hastaya göre uyarlanabilmelidir. Ancak cerrahinin kritik aşamasından önce yanıtların yeniden değerlendirilmesi için zaman oldukça kısıtlı olduğundan anesteziyi değiştirmek veya uyarlamak her zaman mümkün olmamaktadır [46].

Çoğu anestezik ajanın santral sinir sistemi üzerindeki baskılayıcı etkisi primer olarak sinaptik transmisyon üzerindeki etkilerinden ve aksonal iletimin refrakter periodunun uzamasından kaynaklanır.

Genel anestezi sırasında SUP yanıtları zaman içinde anestezik ajan dozlarına bağımlı şekilde progresif olarak azalır. SUP amplitüdündeki değişkenlik latanstaki uzamaya göre çok daha fazladır [9]. Kortikal SUP'lar

subkortikal, spinal veya periferik olarak elde edilen potansiyellere göre anestezi ajanlarından daha fazla etkilenmektedir [36, 43].

Çeşitli izlem modaliteleri arasında TkMUP yanıtları, anestezi ajanlarının etkilerine daha fazla duyarlılık göstermektedir [43]. Transkranyal elektrik uyarı, anestezi ajanlarının neden olduğu kortikal etkileri bertaraf ederek subkortikal beyaz cevheri aktive etmektedir. Ancak anestezi ajanları, alfa motor nöron hücrelerinin uyarılabilirliğini azaltarak inhibitör etkiyle MUP yanıtlarında baskılanmaya neden olmaktadır [46]. Kortikospinal yollar üzerindeki etkileri ise oldukça azdır [8].

MUP izlemi için ideal anestezi rejimleri halen bir tartışma konusudur. Ancak çoğunlukla ajanların yüksek, orta ve minimal inhibitör etkili şeklinde gruplandırılması kabul görmektedir [46] (Tablo 2.5).

Tablo 2.5 Anestezi ajanlarının MUP yanıtları üzerindeki değişik derecelerdeki inhibitör etkileri [46]

Motor uyartılmış potansiyel inhibisyon derecesi	Anestezi ajan
Yüksek	Potent volatil ajanlar, N ₂ O
Orta	Propofol, benzodiazepinler
Minimal veya etkisiz	Etomidat, ketamin, narkotikler

Anestezi ajanlarının intravenöz bolus uygulamaları ve dozlarındaki belirgin artışlar da yanıtları azaltır veya kaybolmasına yol açar. Yanıtları tekrar elde edebilmek için uyarı şiddetinin ve tren sayısının artırılması gerekebilir [8].

Omurga cerrahisi sırasında günümüzde genellikle SUP ve MUP yanıtlarının önemli yer teşkil ettiği multimodal izlemin tercih edilmesi, izlemin başarısı açısından en uygun anestezi ajanının seçimini önemli bir konu haline

getirmektedir. Düşük inhibitör etkili rejimler bir miktar daha pahalı olmakla birlikte maliyetler arasındaki fark oldukça azdır.

Total intravenöz anestezi (TİVA) intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon için en uygun anestezi seçeneğidir. İntravenöz ajanlar; analjezikleri (opioid veya ketamin) ve sedatif ajanları (barbitürat, benzodiazepin, etomidat, propofol veya droperidol) içerir. Genellikle bu ajanlar başlangıçta anestezi indüksiyonu için intravenöz bolus şeklinde uygulanmakta ve yeterli anesteziyi sağlamak için sürekli infüzyonla devam edilmektedir. Ek olarak, depolarizan veya non-depolarizan nöromusküler bir ajan endotrakeal entübasyonu kolaylaştırmak için kullanılabilir [43, 44].

Halojenli anestezik ajanlar: Halojenli ajanlar; florla halojenize edilmiş halotan, izofluran, desfluran, sevofluran gibi ajanları içerir. Tüm anestezikler içinde uyarılmış potansiyeller üzerine en olumsuz etkilere sahip olan ajanlardır [36]. Etkilerini spinal motor nöron uyarılabilirliğini ve beyin sinaptik aktivitesini baskılayarak göstermektedirler [9].

Kortikal kayıtlı SUP'da doz ilişkili olarak latansta uzama ve amplitütte azalmaya neden olur [74]. Anesteziklerin etkilerine diğer modalitelere göre daha duyarlı olan MUP'lar ise halojenli ajanların kullanımları ile kolaylıkla kaybolabilmektedir. Ancak halojenli ajanların konsantrasyonu 0,5 MAC (minimum alveolar konsantrasyon) altında tutulduğunda kabul edilebilir MUP yanıtlarının elde edilebileceği bildirilmektedir [43].

Nitröz Oksit: Anestezik bir gaz olan nitröz oksit tek başına veya halojenize ajanlar, opioidler veya propofol ile birlikte kullanıldığında MUP ve kortikal SUP yanıtlarının amplitütlerinde doz bağımlı azalmaya ve latanslarında uzamaya neden olur [43, 75].

Nitröz oksitin kortikal SUP ve kas kayıtlı transkranyal MUP yanıtlarındaki inhibitör etkisi belirgin iken subkortikal ve periferik SUP ve epidural kayıtlı MUP'lar üzerindeki etkisi ise minimaldir [43].

Kısıtlılıklar göz önüne alındığında optimal MUP kaydı için yüksek frekansta uygulanan uyarı teknikleri kullanılsa dahi, nitroz oksit de dahil inhaler ajanlardan kaçınılması gerekmektedir [76].

Propofol: Kısa etkili intravenöz anestezik bir ajan olan propofol anestezi indüksiyonunda ve genel anestezinin devam ettirilmesinde kullanılmaktadır. Propofol MUP amplitüdünde doz bağımlı azalmaya neden olurken latans üzerinde etkisi yoktur [77]. Propofol kullanıldığında, çoklu tren dalga uyarımı ile elde edilen MUP yanıtlarında gözlenen artış diğer ajanlara kıyasla daha fazladır. Bu da propoföl standart anestezik ajan haline getirmektedir [43, 78]. Ancak propofölün analjezik etkisinin olmaması nedeniyle narkotiklerle ve/veya ketamin ile desteklenmesi gerekmektedir [43].

Propofol SUP yanıtlarını baskılayabilir ancak bu etkisi inhaler ajanlara göre çok daha az olduğundan propofölün opioid ajanlarla beraber kullanımı SUP yanıtları açısından da en uygun seçimdir [8, 46].

Narkotik ajanlar: Sentetik opioid olan fentanil, sufentanil ve remifentanil omurga cerrahisinde intraoperatif ve postoperatif analjezi sağlamak için sıklıkla kullanılan ajanlardır [43]. Total intravenöz anestezide kullanılan opioidlerin MUP'ların üzerindeki etkisi minimaldir [79].

Lidokain: Lokal anestezik ajan olan lidokainin düşük dozda kullanımının SUP ve MUP yanıtları üzerindeki etkileri minimaldir [80, 81]. Lidokainin, sabit hemodinamik durumu devam ettirmek için gerekli halojenli veya intravenöz anesteziklerin ihtiyacını azalttığı bildirilmiştir [43, 82, 83].

Ketamin: NMDA reseptör antagonisti olan ketamin uyarılmış potansiyellerin amplitütlerinde artışa neden olurken aynı zamanda major cerrahi yapılan ve kronik ağrısı olan hastalarda postoperatif ağrının azaltılmasına da yardımcı olmaktadır. Ancak bu ajanın anesteziden uyanma sırasında yol açtığı psikomimetik etkileri kullanımını kısıtlar [36, 43].

Barbitüratlar: Uyarılmış potansiyel amplitütlerini düşürüp latansta gecikmeye neden olurlar. Ancak tipik olarak, yüksek dozda kullanıldığında bile potansiyel elde etmek mümkündür [36].

Etomidat: Düşük dozlarda kullanıldığında uyarılmış potansiyellerin amplitütlerini arttırırken latansı uzatır. İndüksiyon dozlarında ise amplitütler azalabilir [40]. Etomidat; adrenokortikal supresyonla ilişkili bulunduğundan, hemodinamik açıdan stabil olmayan hastalarda anestezi indüksiyonu sırasında kullanımı ile sınırlıdır [84].

Benzodiazepinler: Benzodiazepinler amplitütlerde azalmaya neden olurken latans üzerine olan etkileri ise minimaldir [36].

Nöromüsküler blokerler: MUP'lar nöromüsküler (NM) blokerlerin fazla miktarda kullanımlarından etkilenirler, bu sebeple entübasyondan sonra kullanılmaması genel prensip olarak benimsenmiştir. Ancak bazı yazarlar omurga cerrahisi sırasında oluşabilecek hareketleri önlemek için parsiyel blokaj uygulamasını savunmaktadır. Bu amaçla kullanıldığında, monitorizasyonu devam ettirebilmek için bu ajanların dar bir doz aralığında tutulması ve kontrollü sürekli infüzyon yapılması gerekmektedir [8, 43]. Eğer anestezi ajanı uygun olarak seçilirse nöromüsküler blokerlerin kısmi seviyelerde kullanımında MUP yanıtını elde etmek mümkündür. Ancak; oldukça düşük amplitütlü MUP yanıtları elde ediliyorsa nöromüsküler ajanların kısmi kullanımından vazgeçmek gerekebilir [46].

Kas gevşetici ajanların genel olarak SUP'lar üzerine etkisinin olmadığı düşünülür. Ancak kayıt elektrotlarının etrafındaki kas gruplarından kaynaklanan miyojenik artefaktları azaltarak yanıtın kalitesinde artış sağlayabilir [44].

Nöromüsküler blokaj monitorizasyonu: Total farmakolojik nöromüsküler blokaj varlığında EMG monitorizasyonu yapılamamaktadır. Ancak kısa etkili ajanların % 50-75 arasında titre edilmesi ile yapılan parsiyel blokajla başarılı monitorizasyon sağlamak mümkündür. Nöromüsküler ajanların kandaki rezidüel düzeyinin izlemi ardışık sinir uyarımı ile yapılabilir [62].

“Train-of-four” (TOF) tekniği, nöromüsküler blokaj derecesini saptamak için ameliyathanede sıklıkla kullanılır. TOF sinir uyarımı, uyarılar arası sürenin 0,5 sn (2 Hz) olduğu ve totalde 2 sn süren tren şeklindeki 4 supramaksimal uyarı ile yapılır. Pek çok sinirden elde edilebileceği gibi en sık bilekte ulnar sinirin uyarılması ve hipotenar bölgeden kayıt alınması ile yapılır. TOF uyarımı ile uygulanan tren dalgaların her biri kasta kasılmaya neden olur ve T1, T2, T3, T4 yanıtlarını oluşturur. Son 3 yanıtın amplitütünün birinci yanıtına oranla azalması bu testin temelini oluşturur. 1. yanıtın amplitütünün 4. yanıtın amplitütüne bölünmesi ile TOF oranını elde edilir. (T1:T4, Train ratio-TR%). Kas gevşetici uygulanmadan önceki kontrol testte, 4 yanıtın da amplitüdü eşit olup TOF oranı 1’dir.

Non-depolarizan nöromüsküler bileşke blokerleri, asetilkolin (ACh) ile yarışarak ACh reseptörlerine bağlanır. Bu ajanlar kas membran reseptörlerinin alfa alt ünitelerine bağlanır ve ACh’nin membranı depolarize etmesini önler. TOF uyarımı ile uyarıya kasın yanıtı zamanla azalır çünkü sinir terminalinden presinaptik olarak salınan ACh miktarı azalır. 4. yanıtın amplitütü 1.’ ye göre azalmıştır, çünkü 4. uyarı henüz kompetitif bloğun üstesinden gelemediğinden sinaptik aralığa salınan ACh daha az miktardadır. T1 yanıtının amplitüdü bazal değer %25’i olduğunda, T4 yanıtı kaybolur ve %75 oranında blokaj mevcuttur. %80 blokajda T3 yanıtı, %90 blokajda T2 yanıtı da kaybolmuştur. T1 yanıtı da kaybolduğunda %100 blokaj olduğu kabul edilir.

TOF oranı nöromüsküler bileşkedeki davranış özelliklerinden dolayı depolarizan nöromüsküler ajanlarla kullanılamaz, bu sebeple eğer nöromüsküler blokaj derecesi monitorizasyon sırasında kantifiye edilecekse non-depolarizan ajanlar kullanılmalıdır [50].

2.3.15. Teknik faktörler

Periferik SUP'ların ani kaybı muhtemelen uyarının başarısızlığından kaynaklanmaktadır.

Sağlı deriye yerleştirilen elektrotların impedanslarında meydana gelen artışlar yanıtların azalmasına neden olabilir. Bu durumda impedanslar mutlaka yeniden kontrol edilmelidir.

Elektrokoter kullanımına bağlı olarak oluşan ve monitörde düz çizgi şeklinde gözlenen amplifikatör satürasyonu potansiyellerin düşmesi veya kaybına yol açabilir. Bu durumda amplifikatör düzelene kadar beklemek yeterli olmaktadır [8].

2.3.16. Risk altındaki spinal kord ve sonuçların yorumlanması

Hızlı geri bildirim sağlayabilmek, kord hasarı riskini yaratması en olası görünen o andaki veya en son uygulanan manevraya yönelerek düzeltmeye yardımcı olmaktadır. Düzeltici manevranın uygulanması ile yanıtların sıklıkla düzeldiği gözlenir ve postoperatif defisit gelişmez.

Ortalama arter basıncının 60 mmHg'nin altında olduğu hipotansiyon, spinal kord iskemisine yol açarak yanıtların azalmasına neden olabilir. Kan basıncının yükseltilmesi ise potansiyelleri düzeltebilir. Hipotansiyon olmaksızın yanıtlarda düşme meydana geldiğinde, ortalama arter basıncının 80 mmHg'nin üzerine çıkarılması da kimi zaman yanıtların düzelmesini sağlayabilir.

Yüksek dozda steroid uygulaması yanıtların azaldığı durumlarda düşünülebilir ancak sonuçları iyileştirdiği gösterilememiştir.

Monitorizasyonun sonuna kadar devam eden patolojik potansiyel düşüşleri, genellikle klinik defisitinin gelişeceğinin göstergesidir. Defisit kalıcı veya geçici olabilir [8].

Uyartılmış potansiyeller için test sonuçları yanlış ve gerçek pozitif ve negatif sonuçlar olarak 4 gruba ayrılmaktadır:

Gerçek negatif: Cerrahi prosedür boyunca bazal seviyelere göre değişiklik göstermeyen ve cerrahi sonrasında nörolojik muayenenin değişmediği durum

Gerçek pozitif: Uyarılmış potansiyellerde meydana gelen değişikliğin müdahale ile hemen geri döndüğü ve nörolojik defisitın gözlenmediği veya değişikliklerin devam ettiği ve hastanın nörolojik defisitle uyandığı durum

Yanlış negatif: Cerrahi boyunca yanıtların bazale göre değişmediği ancak hastada postoperatif nörolojik defisitın geliştiği durum

Yanlış pozitif: Cerrahi süreçte bazal değerlere kıyasla yanıtlarda anlamlı düşmenin meydana geldiği ve müdahalelere rağmen yanıtların düzelmediği ancak hastada herhangi bir postoperatif nörolojik defisitın saptanmadığı durum [38, 68, 86, 85].

Test sonuçlarının analiz edilerek sınıflandırılması her zaman uygun bir yaklaşım olmayabilir çünkü test sonucuna göre gerçekleştirilen hasarı düzeltmeye yönelik manevra ve yaklaşımlar da aynı zamanda sonucu etkilemektedir. Analiz sonuçları sadece hasta uyanmadan önceki bitiş uyarılmış potansiyellerinin değerlendirmesi için anlam taşımaktadır [8]. Gerçek pozitif sonuç ancak monitorizasyon ekibi sonuçlara kör ise ve defisit cerrahiden sonra saptanırsa tanımlanabilmektedir. Ancak bu monitorizasyonun mantığına terstir, aynı zamanda etik de değildir. Uyarılmış potansiyellerde anormal değişiklik gözlemlendiğinde, cerrahi prosedür durdurularak düzeltici işlemler uygulanmakta ve buna yanıtlar düzelene kadar devam edilmektedir. Eğer hasta nörolojik defisitle uyanmazsa bu durumda sonuç hala gerçek pozitif olarak kabul edilmelidir, çünkü potansiyel bir hasar alınan önlemlerle geri döndürülmüştür [38].

2.3.17. Monitorizasyon kayıtları

Monitorizasyon kayıtları, elektronik olarak kayıtlı traselerin yanı sıra hastaya ait demografik özellikler, tanı, cerrahinin tipi, uygulanan nöromonitorizasyon prosedürleri ve uygulayan personel, intraoperatif olarak gelişen olaylar ve klinik sonuç gibi diğer ayrıntılı bilgileri de içermelidir [44].

Cerraha veya anesteziste bildirilen uyarılar, kullanılan anestezipler ve ilaçlarla, bunların dozlarında yapılan önemli değişiklikler, kan basıncı, vücut ısı gibi fizyolojik parametreler de kaydedilmelidir.

2.3.18. Omurga cerrahisinde multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyonun maliyet-etkinliği

Spinal cerrahilerde intraoperatif monitorizasyonun yararı bilinmekte ve geri dönüşümsüz nörolojik hasarları önlediği pek çok merkez tarafından rapor edilmektedir [87]. Ancak bu çalışmalar, retrospektif veya prospektif olarak elde edilen verilere dayanmaktadır. Prospektif randomize kontrollü çalışmaların yapılması ise etik ve medikolegal açılardan mümkün olmamaktadır [45, 87]. Spinal cerrahilerde İONM'nin nörolojik defisit gelişme insidansını yarıya düşürdüğünü (%1'den 0,5'e) gösterebilmek için, uyarılmış potansiyel monitorizasyonun yapıldığı randomize prospektif bir çalışma için yapılan güç analizi sonuçları 4764 hastanın değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Omurga cerrahisi sırasında uygulanan nörofizyolojik monitorizasyon prosedürünün maliyeti, olgu başına 977 doları aşmadığında maliyet-etkin olduğu kabul edilmektedir [87].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Ocak 2009 - Nisan 2010 tarihleri arasında GÜTF Beyin ve Sinir Cerrahisi ile Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalının Omurga Cerrahi Ünitesi'ne başvuran servikal veya lomber spinal stenoz tanısıyla cerrahi girişim planlanan 14 hastaya ameliyatı sırasında İONM uygulanmıştır. Bu çalışmanın yöntemi retrospektif ve prospektif çalışma olarak belirlenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi için tanımlayıcı istatistik kullanılmıştır.

Çalışma için Gazi Üniversitesi etik kurulundan onay alındı. Uygulanacak işlem hakkında olgulara bilgi verilmiş ve her olgunun yazılı onayı alınmıştır. Cerrahi endikasyon görülen her olgu hem monitörizasyon hem de anestezi ekipleri tarafından ameliyatından en az bir gün önce değerlendirilmiştir. Hastaların preoperatif ayrıntılı nörolojik muayaneleri yapılmış ve kontrendikasyonlar yönünden sorgulanmıştır. Hastaların görüntüleme sonuçları değerlendirilerek monitorizasyonda kullanılması planlanan cerrahi dekompresyon yapılacak seviyeye uygun kasların seçimi yapılmıştır. Hastalar operasyondan en geç 24 saat sonra olmak üzere yeni nörolojik defisit açısından değerlendirilmiştir.

Belirlenen çalışmaya alınmama kriterleri şunlardı:

- 1) Kardiyak pacemakerı olanlar
- 2) Kontrol altında olmayan yeni başlangıçlı epilepsi varlığı
- 3) Kafatasında lezyonu bulunanlar
- 4) Derin beyin stimülatörleri, kohlear implant veya vasküler klipslerin varlığı

Nörofizyolojik intraoperatif monitörizasyonda, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (Proje no: 01/2007-61) kapsamında "Omurga cerrahisinde intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon" için temin edilen Nicolet Endeavor CR™ (Viasys Healthcare, Nicolet Biomedical) intraoperatif monitörizasyon sistemi kullanılmıştır. Uygulamada çoğunlukla multimodal izleme yaklaşımı tercih edilmiştir.

Motor yolların izlemi için transkranyal elektrik uyarımla kas kayıtlı motor uyartılmış potansiyeller, duyuusal yolların izlemi için ise periferik sinir uyarımı

ile kortikal ve servikal somatosensoriyel uyartılmış potansiyeller elde edilmiştir.

SUP ve MUP kayıtlarına ek olarak sürekli EMG kaydı ve gerekli olgularda F-yanıtları alınmıştır. Tüm bu kayıtları gerçekleştirmek üzere Nicolet Endeavor CR programında ayrı ayrı paneller oluşturulmuştur.

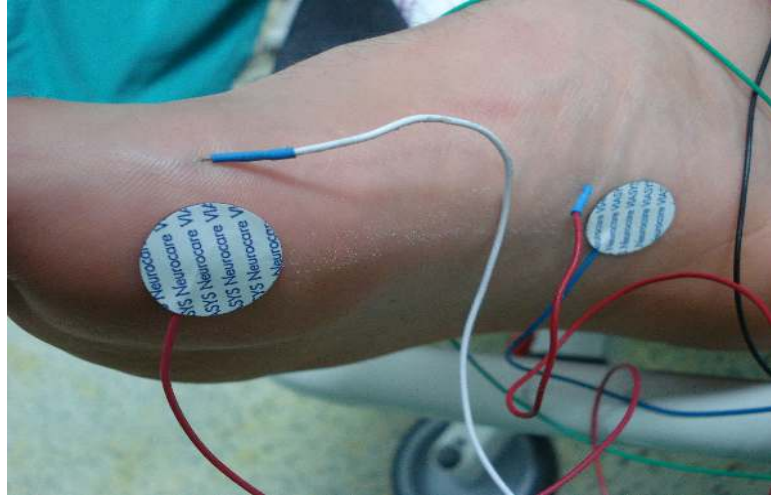
Motor uyartılmış potansiyel uyarım ve kayıt yöntemi:

Transkranyal elektriksel uyarım saçlı deri üzerinden tirbuşon elektrotlar ile uygulanmıştır. Sol motor korteksi uyarmak üzere M3-Mz6, sağ motor korteksi uyarmak üzere M4-Mz6 elektrot yerleşimi kullanılmıştır. M3 ve M4 noktaları 10-20 EEG sistemine göre sırasıyla C3 ve C4 noktalarının 1 cm önüne uyan noktalar, Mz6 ise Cz noktasının 6 cm önüne uyan noktadır. (Resim 3.1). Uyarının süresi 1000 μ s, maksimum uyarı şiddeti olarak 400V seçilmiştir. Arka arkaya verilen beşli trenlerin uyarım hızı 250 Hz'dir. Band geçiş filtre ayarları ise 30-500 Hz olarak belirlenmiştir.



Resim 3.1: Motor uyartılmış potansiyel uyarımı ve somatosensoriyel uyartılmış potansiyel kaydı için saçlı deriye tirbuşon elektrotların yerleşimi

Motor uyartılmış potansiyellerin kayıtları, üst ekstremitelerde genellikle abduktör pollisis brevisten, anestezi uygulamaları nedeniyle bu kas uygun olmadığında ise abduktör digiti minimi veya başka bir üst ekstremitte kasından iğne elektrotlar (paslanmaz çelik, Viasys 698-621700) kullanılarak alınmıştır. Alt ekstremitte kayıtlaması ise lomber spinal stenozlu olgularda her iki abduktör hallusis kası başta olmak üzere klinik ve cerrahi tedavinin gerekliliğine göre tibialis anterior, vastus lateralis, adduktor magnus kaslarından yapılmıştır (Resim 3.2). Servikal stenozlu olgularda ise abduktör pollisis brevis veya abduktör digiti minimiye ek olarak biceps ve deltoid kaslarından kayıt alınmıştır.

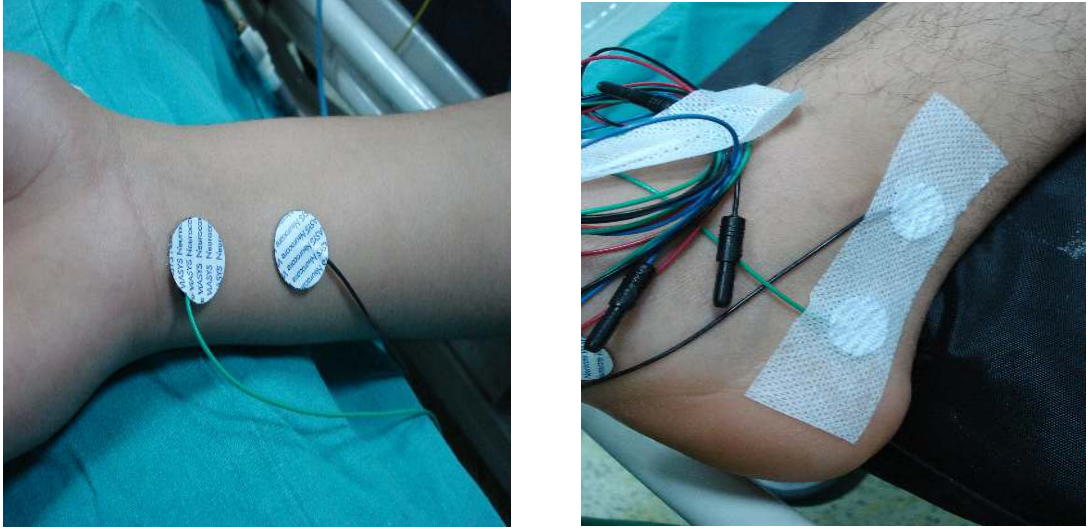


Resim 3.2: Motor uyartılmış potansiyel ve sürekli EMG kaydı için abduktör hallusis kasına yerleştirilen iğne ve yüzeyel elektrotlar

SUP uyarım ve kayıt yöntemi:

Uyarım kendiliğinden yapışan yüzeyel elektrotlar (disk, Viasys 019-415000) kullanılarak üst ekstremitede median veya ulnar sinir, alt ekstremitede ise posterior tibial sinirden yapılmıştır. Aktif elektrot medial malleol ve aşıl tendonu arasında orta noktaya, referans elektrot ise aktif elektrotun 3 cm distaline yerleştirilmiştir. Median sinir için aktif elektrot bilek çizgisinin 2-4 cm proksimalinde olacak şekilde palmaris longus ve fleksör

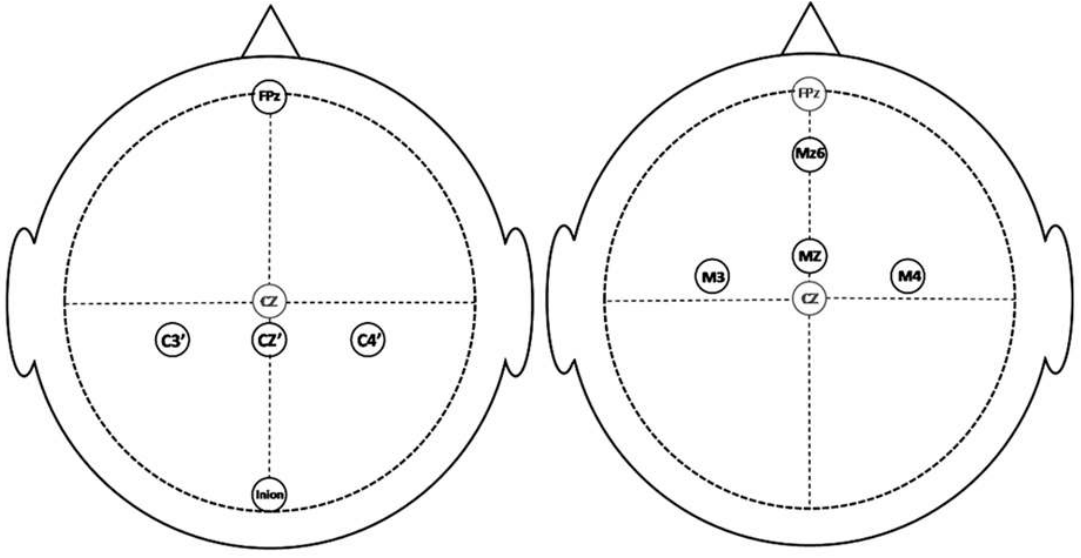
karpi radialis longus tendonları arasına, ulnar sinir için ise fleksör karpi ulnaris tendonunun medial veya latereline konulmuştur. Referans elektrot ise aktif elektrotun 2- 3 cm distaline yerleştirilmiştir (Resim 3.3).



Resim 3.3: Ulnar ve posterior tibial sinire somatosensoriyel uyartılmış potansiyeller için uyarıcı elektrotların yerleşimi

Üst ekstremitte kortikal SUP kayıtları saçlı deri üzerinde C3'-FPz ve C4'-FPz, alt ekstremitte SUP kayıtları ise CZ'-FPz konumlarına yerleştirilen "tırbuşon" (corkscrew, Viasys 019-425100) elektrotlarla elde edilmiştir. Servikal SUP yanıtları için ise aktif elektrot inion üzerine yerleştirilmiş, referans olarak ise FPz noktasına yerleştirilen elektrot kullanılmıştır (Resim 3.4).

Ekran duyarlılığı $0,5 \mu\text{V}/\text{mm}$, süpürme süresi 100 ms olarak belirlenmiştir. Filtre ayarları 10-300 Hz olarak seçilmiştir. Uyarı sıklığı, 1,7 Hz, uyarı süresi tibial uyarım için 500 μs , median uyarım için 300 μs olarak uygulanmıştır. Tibial sinire genellikle ortalama 25 mA, median sinire 10 mA uyarı şiddeti uygulanmış, obez hastalarda ise bu değerlerin üzerine çıkılması gerekmiştir.



Resim 3.4. Somatosensoryel ve motor uyartılmış potansiyel kayıtları için elektrot montaj şeması

Sürekli EMG kaydı ve F-yanıtları:

Cerrahi sırasında risk altında olduğu düşünülen köklerin innervasyonuna uyan kaslardan sürekli EMG kaydı ile izlem yapılmıştır. Sürekli EMG kaydı sırasında, ekran süpürme hızı 2 saniye ve filtre ayarları 10 Hz-1,5 kHz şeklinde kullanılmıştır.

Posterior tibial sinirden kaydedilen F-yanıtları için verilen uyarının süresi 500µs, uyarı frekansı 1,1 Hz olarak seçilmiştir. Maksimum akım şiddeti 50 mA olmakla birlikte ihtiyaca göre akım şiddeti artırılmıştır. Kayıt için ekran sensitivitesi 20µV/mm, süpürme hızı 100 ms olarak ayarlanmıştır.

Anestezi Yöntemi:

Ameliyathaneye alınan her olguda, anesteziye remifentanil 0,2 µg/kg/dk infüzyon olarak başladıktan sonra propofol bolus 2 mg/kg verilir, olgular laringeal tüp veya maske yoluyla %100 O₂ ile solutulmuştur. Bu sırada kas gevşetici uygulanmamıştır. Olgularda arteriyel ve santral venöz damar yolları açıldıktan sonra, monitörizasyon ekibine İONM uygulamasına ve ilk bazal kayıtların alınmasına fırsat verilmiştir. Uygun uyarı parametreleri

belirlendikten sonra tüm bazal kayıtlar alınmıştır. İzleme bu bazal kayıtlar göz önünde tutularak yapılmıştır. Ameliyat süresince de düzenli ve sık aralıklarla kayıtlama yapılmıştır. Ayrıca, cerrahi ekibi ihtiyaç duyduğunda da kayıtlamalar tekrarlanmıştır. Bazal kayıtlar alındıktan sonra entübasyon amacıyla kısa etkili kas gevşetici olarak atrakuryum 0,5 mg/kg (TraciumR) uygulanmıştır. Daha sonraki dönemlerde ise kas gevşetici kullanılmamıştır. Anesteziye total intravenöz anestezi (TİVA) yöntemi ile devam edilmiştir (kardiyovasküler parametrelere göre remifentanil 0,1-0,2 µg/kg/dk ve propofol 6–8 mg/kg/saat doz aralığında). Remifentanil ve propofolün bolus dozlarından kaçınılmıştır. Sistemik problemleri nedeniyle TİVA yapılamayan hastalarda ise, hasta için en uygun anestezi rejimi kullanılmıştır.

Olgulara oksijen/hava karışımı (%40 O₂, %60 hava) ile End-Tidal CO₂ 30-35 mm Hg olacak şekilde anestezi cihazı ile mekanik ventilasyon uygulanmıştır. Cerrahi girişimler esnasında kanamayı azaltmak için ortalama arter basıncı 55-60 mmHg olacak şekilde hipotansif anestezi uygulanmıştır. Hastalara operasyon boyunca kan basıncı, periferik oksijen satürasyonu ve EKG monitörizasyonu yapılmıştır. Uzun süren operasyonlarda ise hipotermiyi önlemek için ısıtıcı kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Toplam 14 hastaya cerrahi sırasında MiONM uygulandı. Hastaların 2'si spinal stenoza bağlı servikal spondilolitik myelopati (%14,3), 12'si (%85,7) lomber spinal stenoz nedeniyle opere edildi.

Bu 14 hastanın sekizi (%57,14) kadın, altısı (%42,85) erkekti. Hastaların yaşları 36 ile 80 arasında olup ortalama yaş 63,85 yıl idi.

Hastaların onuna dekompresif cerrahi uygulanırken, dördüne dekompresyona ek olarak posterior enstrümantasyon uygulanmıştır.

14 hastanın 13'ünde total intravenöz anestezi rejimi, bir olguda ise halojenli anestezik ajan (isofluran) ve etomidat kullanılmıştır.

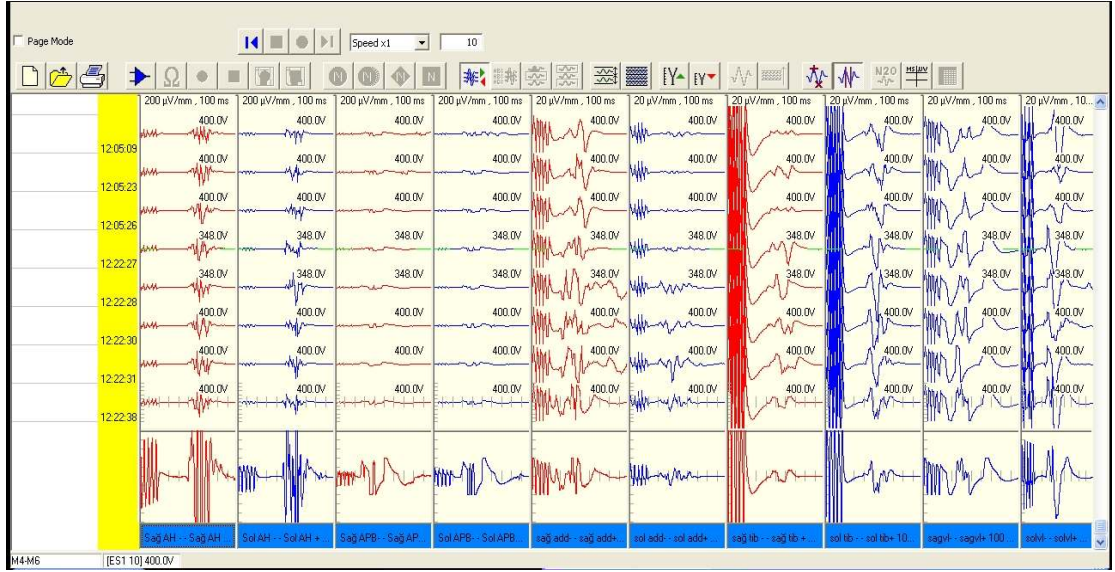
MiONM uygulanan 14 hastanın 12'sinde (%85,7) SUP ve MUP'ların birlikte alındığı başarılı izlem sağlanırken ciddi kronik servikal myelopatisi olan bir tetraparezik hastada MUP veya SUP yöntemlerinden herhangi birinde başarılı izlem sağlanamamıştır. Daha önceden paraplejik olan ve aynı zamanda polinöropatisi olan bir lomber stenozlu hastada ise SUP kaydı elde edilemezken sadece sağ abduktor hallucis kasından MUP kaydı elde edilebilmiştir.

Opere edilen hastaların hiçbirinde yeni gelişen postoperatif nörolojik defisit saptanmamıştır.

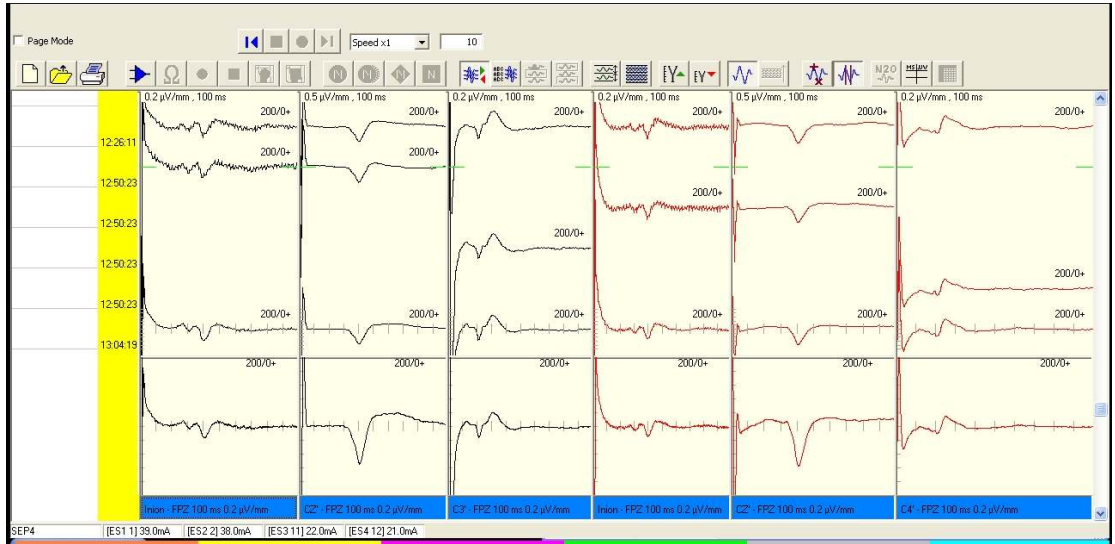
SUP kaydı alınan 12 hastadan hiçbirinde operasyon süresince yanıtlarda anlamlı değişiklik meydana gelmemiştir. MUP kaydı alınan 13 hastadan birinde MUP yanıtı operasyon sırasında tamamen kaybolmuştur ve operasyon sonuna kadar yanıtta düzelme olmamıştır. Bu hastada postoperatif yeni gelişen nörolojik defisit saptanmamış olmasına rağmen bu olgu gerçek pozitif olarak kabul edilmiştir. Diğer 12 hasta ise gerçek negatif (%92,3) olarak değerlendirilmiştir. Yalancı pozitif veya yalancı negatif sonuç ise saptanmamıştır (Tablo 4.1, Resim 4.1, 4.2, 4.3).

Tablo 4.1: Multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon uygulanan 14 hastanın genel özellikleri ve elde edilen sonuçlar

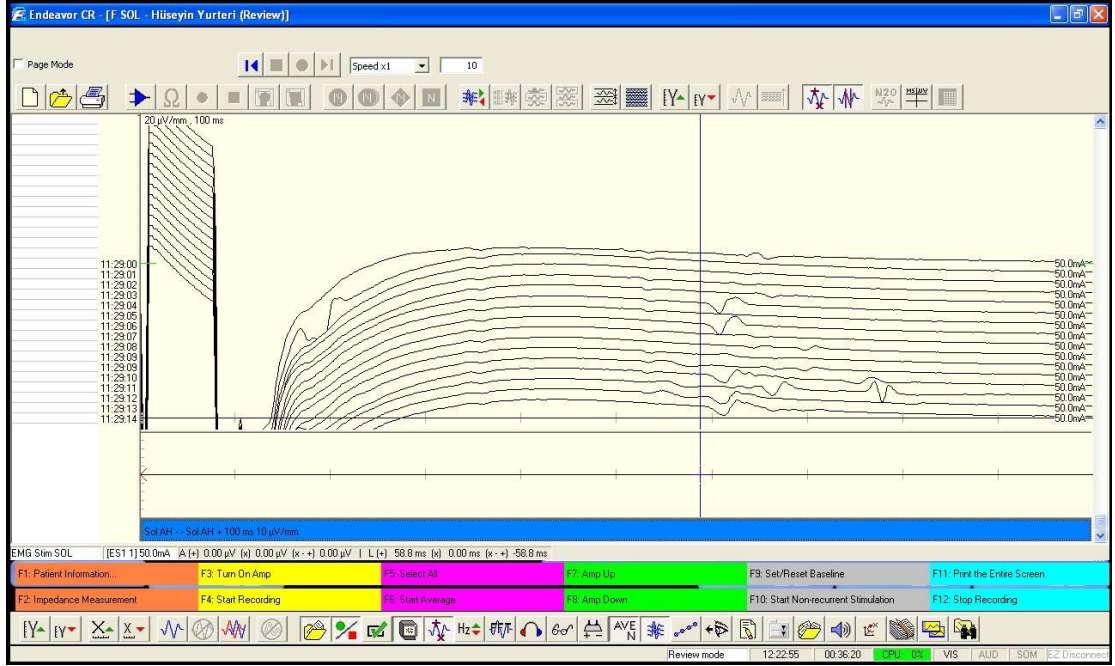
NO	Cinsiyet	Yaş	Seviye	İzlem durumu	Kayıtlarda bozulma	Postop yeni nörolojik defisit
1	E	44	L3-L4	Başarılı	Yok	Yok
2	K	66	L2-L4	Başarılı	Yok	Yok
3	K	64	L3-S1	Başarılı	Var (geri dönmeyen MUP kaybı)	Yok
4	K	61	L3-L4	Başarılı	Yok	Yok
5	K	58	L2-L5	Başarılı	Yok	Yok
6	E	63	T12-L4	Başarısız	-	Yok
7	E	36	C5-C6	Başarılı	Yok	Yok
8	E	66	L4-L5	Başarılı	Yok	Yok
9	K	80	L3-L5	Başarılı	Yok	Yok
10	E	80	L4-L5	Başarılı	Yok	Yok
11	K	71	L4-S1	Başarılı	Yok	Yok
12	K	67	L3-L5	Başarılı	Yok	Yok
13	K	67	L3-L5	Başarılı	Yok	Yok
14	E	71	C3-C5	Başarısız	-	Yok



Resim 4.1: Operasyon süresince yanıtlarda değişimin izlenmediği motor uyarılmış potansiyel kayıt örneği

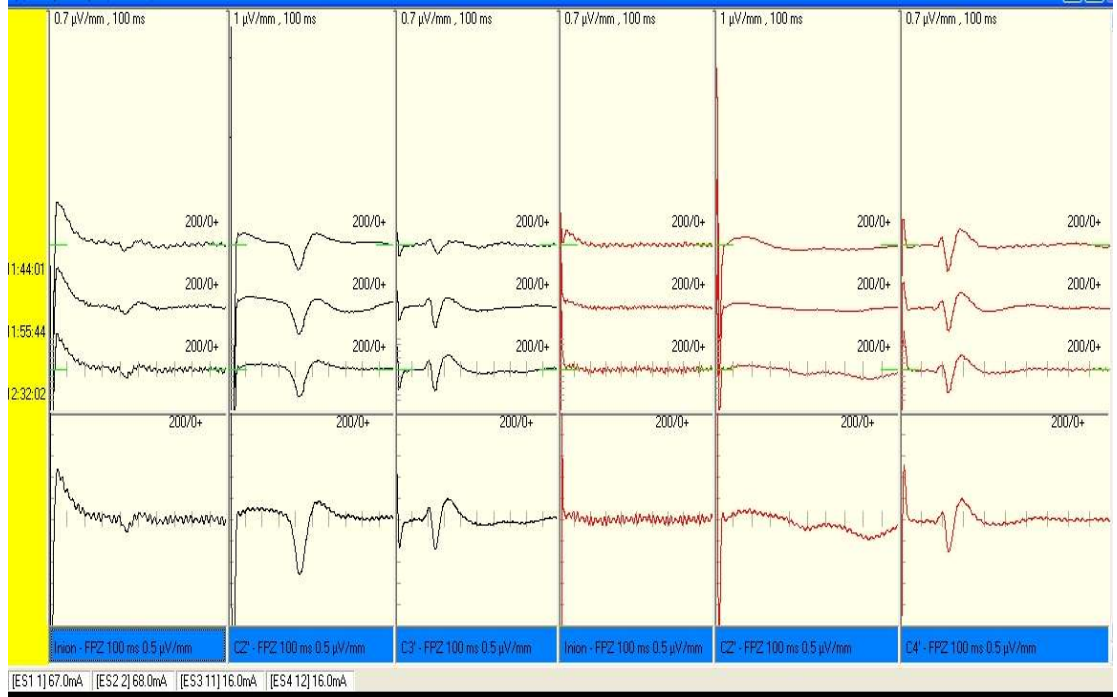


Resim 4.2: Operasyon süresince yanıtlarda değişimin izlenmediği somatosensoriyel uyarılmış potansiyel kayıt örneği



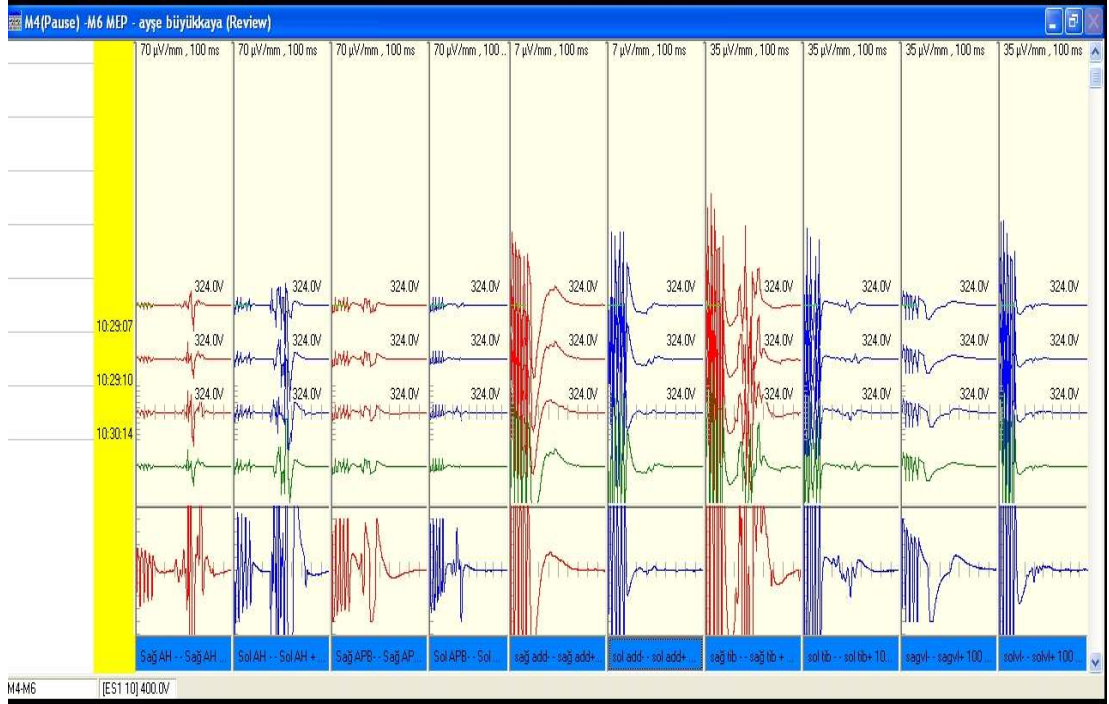
Resim 4.3: Posterior tibial sinir F yanıtı kayıt örneği

3 numaralı hastanın preoperatif nörolojik muayenesinde sağ diz fleksiyonu -5/5 düzeyinde idi. Duyu defisiti yoktu, derin tendon refleksleri bilateral normoaktifti. Hastaya L3-S1 seviyesinde dar kanal nedeniyle dekompresif cerrahi (bilateral L3-4, L4-5 ve sağ L5-S1 foraminotomi, L4 total laminektomi, L4-L5 diskektomi) uygulandı. Hastadan anestezi indüksiyonu sonrası kısa nöromusküler bloker ajan verilmeden önce bazal kayıtlar alındı. Üst ekstremitelerden median sinir uyarımı ile elde edilen bazal SUP yanıtları her iki tarafta simetrik konfigürasyonda ve benzer amplitütlü idi. Posterior tibial sinir uyarımı ile elde edilen alt ekstremitel kortikal SUP'larda, sağ taraf yanıtının amplitüdünün sola göre düşük ve latansının uzamış olduğu gözlemlendi. Yine servikal SUP kaydında sol alt ekstremiteden uyarımla yanıt elde edilebilirken sağdan uyarımla servikal SUP alınamadı. SUP'ta gözlenen iki taraf alt ekstremitel yanıtları arasındaki asimetri cerrahinin sonuna kadar değişmeden devam etti (Resim 4.4).



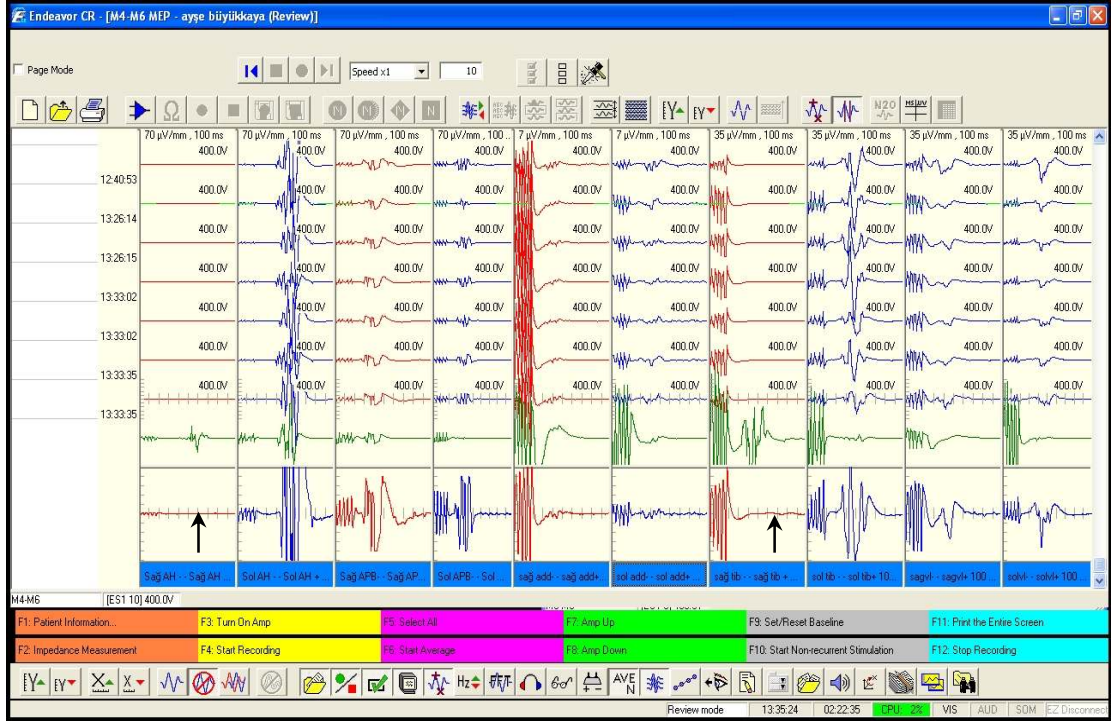
Resim 4.4: 3 numaralı hastanın bazal ve cerrahi sırasındaki somatosensoriyel uyartılmış potansiyel kayıtları. Panelde sırasıyla sol servikal, posterior tibial ve median ile sağ servikal, posterior tibial ve median somatosensoriyel uyartılmış potansiyeller izlenmektedir. İki alt ekstremite uyarımı ile elde edilen yanıtların asimetrisi dikkat çekicidir.

Hastanın her iki taraftan da adduktor longus, vastus lateralis, tibialis anterior, abduktor hallusisten kaydedilen bazal MUP yanıtları alınmaktaydı ve her iki korteksin ayrı ayrı uyarımı ile elde edilen karşı ekstremite yanıtlarının amplitütleri arasında da belirgin fark yoktu (Resim 4.5).



Resim 4.5: 3 numaralı hastanın bazal motor uyartılmış potansiyel yanıtları

Cerrahi dekompresyon işlemi sırasında hem sağ hem sol korteksin uyarılması ile elde edilen sağ taraf abduktör hallusis ve tibialis anterior kas MUP yanıtlarında geri dönüşümsüz olarak tam kayıp meydana gelirken diğer kaslardaki yanıtların amplitütlerinde anlamlı bir değişme gözlenmemiştir (Resim 4.6). MUP yanıtları kaybolduğu sırada alınan sürekli EMG kaydında ise sinir kökü irritasyonunu düşündüren herhangi bir patolojik deşarj izlenmemiştir. Kontrol amaçlı olarak kullandığımız F yanıtı ise muhtemelen hastanın obez olması ve yüzeysel elektrot kullanmamız nedeniyle posterior tibial sinirin yeterince uyarılamamasına bağlı olarak iki taraflı olarak elde edilememiştir. Bu sıradaki sistemik ve anestezi durumunun stabil olması nedeniyle cerraha hasar olasılığı açısından bilgi verilmiştir. Ancak cerrahi ekip tarafından cerrahi işlem ile ilişkilendirilemediği belirtilmiş ve düzeltici manevra uygulanmamıştır. Hastada postoperatif yeni gelişen motor bir defisit saptanmamıştır.



Resim 4.6: 3 numaralı hastanın cerrahi dekompresyon sırasında elde edilen motor uyartılmış potansiyel yanıtları. Panelde yeşil renkli trase bazal yanıtları temsil etmektedir. Panelin 1. vertikal sütündeki trase sağ abduktör hallusis kasından, 7. vertikal sütündeki trase ise sağ tibialis anterior kasından elde edilen yanıtı göstermektedir. Yanıtın tam kaybı en alttaki traselerde okla işaretlenmiştir.

6 numaralı hasta operasyon öncesinde paralejik idi. Aynı zamanda yaygın sensorimotor periferik nöropatisi mevcuttu. Preoperatif olarak alınan SUP kaydında hastanın monitorize edilebilir durumda olmadığı gözlemlendi. Operasyon sırasında da SUP yanıtı elde edilemedi. Sağ abduktör hallusis kasından bazal MUP kaydı yapılabilirken, sol abduktör hallusisten bazal MUP elde edilemedi. Operasyon boyunca sağ tarafın yanıtları amplitüt kaybı olmadan devam ederken, cerrahinin tüm aşamaları boyunca sol taraftan yanıt elde edilemedi. Hastada postoperatif yeni gelişen nörolojik bir defisit saptanamadı.

14 numaralı olguda C3-C5 düzeyinde ileri derecede servikal spinal stenoz ve buna bağlı myelopati mevcuttu. Hasta yaklaşık 4 yıldır tetraparezik idi ve bu hastanın EMG'sinde de yaygın sensorimotor periferik nöropati

mevcuttu. Hastanın genel durumunun stabil olmaması nedeniyle TİVA kullanılamadı. Bu hastanın anestezisi halojenli ajan (isofluran) ve etomidat ile yapıldı. Hastanın SUP veya MUP modalitelerinden herhangi biri ile monitorizasyonu sağlanamadı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

3 numaralı olguda sağ posterior tibial sinir uyarımı ile elde edilen bazal kortikal SUP kaydında sola göre amplitütte düşüklük ve latansında gecikme gözlenmesi ve sol servikal SUP'un olmaması hastanın duyu yollarında preoperatif bir hasar olduğunu düşündürmektedir. Bu duyusal defisit hastanın nörolojik muayenesinde saptanamaması hastayla olan lisan problemine bağlı iletişim yetersizliğinden kaynaklanmış olabilir. Aynı zamanda kalça fleksiyonunda da hafif bir parezi saptanmış olup bu da önceden var olan nörolojik bir hasarı desteklemektedir.

Olgunun ilk alınan bazal MUP kayıtlarından sonra cerrahi insizyon bipolar elektrokoter kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu süre zarfında yoğun artefakt ve güvenlik nedeniyle transkranal uyarımla kas MUP kaydı yapılamamıştır. Aşırı vücut hareketine bağlı iyatrojenik cerrahi bir yaralanmaya neden olmamak için ve cerrahi ekip koter kullanımına aralıksız devam ettiği ve monitorizasyon için ihtiyaç belirtmediğinden hastanın ilk kayıtları dekompresyon başladıktan belirli bir süre sonra alınabilmiştir. Alınan ilk kayıtlarda sağ taraf tibialis anterior ve abduktor hallusis kas yanıtlarında tam kayıp olduğu, sol bacak ve sağ bacağın diğer kaslarındaki yanıtların ise değişmediği gözlenmiştir. Bu gecikme sebebiyle MUP yanıtlarının tam olarak hangi anda kaybolduğu, bu anda yapılan cerrahi işlemle ilişkisinin olup olmadığı net olarak değerlendirilememiştir.

Lo ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada skolyoz cerrahisi sırasında kontralateral MUP'lara eşit veya daha yüksek amplitütlü ipsilateral MUP'lar elde edildiğini göstermişlerdir. Bu yanıt motor korteksin bilateral uyarılmasına bağlı olduğundan aynı ve karşı taraftan elde edilen yanıtların latansları arasında fark gözlenmemektedir. İpsilateral MUP'ların, erken ipsilateral kortikoretikülospinal veya kortikopropriospinal komponentlerle, transkallozal olarak uyarılan geç kortikospinal komponentlerden oluştuğu düşünülmektedir. Bu da ipsilateral MUP'un, karşı taraf motor korteks uyarımı ile elde edilen MUP amplitüdünden daha yüksek olmasını açıklayabilir. İpsilateral ve transkallozal iletilen MUP'ların payı belirsiz olsa da bunlar inen motor yolların

bütünlüğü hakkında ek bilgi sağlayabilir. Bazı hastalarda motor yolların %30'a varan bir kısmının ipsilateral olarak indiği bilinmektedir. Yazarlar kontralateral MUP'un tek başına %50'den fazla kaybının varlığında verilen alarmin genellikle yanlış pozitif sonuçlara yol açtığını bildirmişlerdir. Ancak ipsilateral ve kontralateral MUP'ların eş zamanlı oluşan amplitüt değişikliklerinin ise kesin cerrahi aciliyete işaret ettiği düşünülür. Bu durumda ipsilateral MUP'lar İONM sırasında gözlenen yanlış pozitifliği azaltmak amacıyla kullanılabilir [88]. Bu olguda hem ipsilateral hem de kontralateral kortikal uyarımla sağ taraftaki bu kasların yanıtlarının kaybolması yanlış pozitiflik olasılığını azaltmaktadır.

MacDonald ve arkadaşları uzamış anestezi ile birlikte meydana gelen "zayıflayan MUP" fenomenini tanımlamışlar ve bunun MUP uyarım parametrelerinin progresif şekilde değiştirilerek telafi edilebileceğini öne sürmüşlerdir [89]. Lyon ve arkadaşları zayıflama fenomenine önlem olarak sık MUP elde edilmesinin, bu kademeli şekilde oluşan etkinin akut sinyal kaybından ayırt edilerek yanlış pozitiflik oranını azaltabileceğini belirtmişlerdir [9]. Hastanın diğer alt ekstremité yanıtlarının ve kontrol amaçlı olarak kullandığımız üst ekstremité yanıtlarının korunmuş olması bu anesteziik zayıflama fenomeninin veya sistemik nedenlere bağlı faktörlerin dışlanmasını sağlamıştır. MUP kayıplarının olduğu vücut yarımı ile bazal değerlerden itibaren bozuk olan SUP yanıtlarının olduğu vücut yarımının da aynı olması önceden hasar bulunan sinir köklerinin operasyon sırasında meydana gelen minör bir travma olasılığını akla getirmektedir.

Sürekli EMG kaydına bakıldığında kök irritasyonu bulgusu olabilecek herhangi bir deşarj izlenmemiştir. Bu da yeni gelişen ciddi sinir kök hasarının olmadığını düşündürmektedir. Gelişen nörofizyolojik olay cerrahi işlem ile ilişkilendirilemediğinden cerrahi ekip tarafından düzeltici manevra uygulanmamıştır.

MUP izleminin çok sayıda gereksiz alarma neden olduğu bilinmektedir. MUP'larda geçici değişiklikleri olan ancak SUP'un normal olduğu hastalarda klinik önemin olmadığı, kalıcı MUP kaybı varlığında ise hemen her zaman

postoperatif defisitinin gözlemlendiği genel görüş olarak kabul edilmektedir. Pelosi ve arkadaşları MUP değişikliklerinin klinik bulgu yokluğunda da gerçek pozitif olabileceğini, bunun nedeninin de subklinik bir spinal kord disfonksiyonu nedeniyle defisitinin belirlenememesinden kaynaklandığını öne sürmüşlerdir [8]. Hastanın nörolojik açıdan operasyondan 24 saat sonra değerlendirilebilmiş olması saatler içinde gerileyen bir defisitinin saptanamamasına neden olmuş olabilir.

Mevcut metodlarla Frankel B sınıfındaki spinal kord lezyonu olan hastalarda intraoperatif spinal monitorizasyon yapmanın oldukça güç olduğu bilinmektedir [47]. 6 numaralı olgu paraplejik olup aynı zamanda ağır yaygın sensorimotor periferik nöropatisi ve kaslarda ciddi atrofi de mevcuttu. Bu sebeple monitorizasyondan beklentiye belirlemek üzere operasyondan bir gün önce SUP çalışması yapılmış ancak kortikal veya servikal SUP yanıtı elde edilememiştir. Bu sebeple hastanın operasyon sırasında monitorize edilemez olabileceği tahmin edilmiştir.

Operasyon sırasında bu hastanın sağ taraf abduktör hallusis kasından yanıt elde edilirken sol taraf kas yanıtı ise elde edilememiştir. Tek taraftan izlem yapılabilmiş olmasına rağmen MUP izlemi yine de spinal kordda diffüz ciddi bir hasarın gelişmediği konusunda fikir vermeye yardımcı olabilir. Kas MUP kaydı için abduktör hallusis kası kullanılmış olup izlem için en distal kasın seçilmesi ve alternatif kasların kullanılmaması da hastanın sol alt ekstremitelerinden yanıt alınamamasının nedeni olabilir.

14 numaralı olguda ise kronik ciddi servikal spondilolitik myelopati ve eşlik eden ağır sensorimotor polinöropati mevcuttu. Myelopatik hastalarda MUP yanıtı elde etmenin daha güç olduğu ve daha fazla uyarım gerektirdiği bilinmektedir. Bunun, hastalarda yapılan histopatolojik incelemelerde saptanan geniş çaplı kortikospinal liflerin selektif hasarına ve küçük çaplı liflerin rölatif olarak korunmasına bağlı olabileceği düşünülmektedir [9]. Bu olguya preoperatif nörofizyolojik değerlendirme yapılamamış olmasına rağmen bu bilgiler ışığında bu olgunun da monitorize edilemez olabileceği öngörülmüştür.

Hastanın genel durumunun bozuk olması ve komorbiditeleri nedeniyle TİVA yöntemi uygulanamamış, bunun yerine halojenli ajanla beraber etomidat kullanılarak anestezi sağlanmıştır.

Etomidat yanıtlarda fasilitasyon ve amplitüt artışı sağlayabilmesine rağmen halojenli ajanların yanıtları baskıladığı ve bu baskılayıcı etkinin oldukça güçlü olduğu bilinmektedir [36]. Seçilen bu anestezi rejimi hastanın durumuna en uygun seçenek olmasına rağmen monitorizasyon açısından güçlüklerle sebep olmuştur.

Ketaminin kortikal nöronlar üzerindeki eksitatör etkileri sayesinde anestezik ajanların baskılayıcı etkilerinin üstesinden gelerek ön boynuz hücrelerindeki temporal sumasyonla myelopatik hastalarda zayıf ancak tekrarlanabilir MUP yanıtları elde edilebileceği bildirilmektedir [9]. Bu olguda ketamin kullanılması MUP izlemine imkan verebilirdi.

Lyon ve arkadaşları myelopatik hastalarda normallere göre daha fazla sayıda tren dalga (9 tren dalga) ve stimuluslar arasında daha uzun intervaller gerektiğini gözlemişlerdir [9]. Ancak bu hastada biz standart olarak uyguladığımız 5'li tren dalga ve stimuluslar arasında 4 ms interval parametrelerini kullandık. Hastanın komorbid hastalıkları ve nöbet öyküsü nedeniyle uzun süreli uyarım parametrelerinden kaçınılmış olmasına rağmen uzun pulsların insanlarda güvenle uygulanabildiğine dair birçok yayın da mevcuttur [90]. Uyarı parametrelerinin değiştirilmesi bu olguda MUP yanıtının elde edilmesini sağlayabilirdi.

Yine bu hastada daha proksimal kasların veya daha fazla sayıda kasın kullanılmamış olması da MUP elde edilememesine neden olmuş olabilir.

Bu olguda spinal D yanıtlarının kullanılması monitorizasyona katkı sağlayabilirdi. Ancak o dönemdeki teknik donanımımızın yetersizliği nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

Szelenyi ve arkadaşları transkranyal elektriksel uyarımla MUP yanıtları için uyarı parametreleri ve elektrot montaj yerleşimlerini karşılaştırmışlardır. Motor uyarı eşiğini azaltmada puls süresini uzatmanın en güçlü etkiye neden olduğunu saptamışlardır. Yine en düşük motor eşiğin 0,5 msn süreli, ve

interstimulus intervali 4 msn olan tren dalgalarla ve C3/C4 elektrot montajları ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Ancak C3/C4 yerleşimiyle uyarımın aşırı vücut hareketine neden olarak dezavantaj yarattığını gözlemişlerdir. Üst ekstremité için C3/Cz veya C4/Cz, alt ekstremité için ise Cz/Cz+6 yerleşiminin daha fokal bir uyarım sağladığını öne sürmüşlerdir [90]. Ancak kendi deneyimiz C3/Cz+6 ve C4/Cz+6 elektrot montajı ile daha fazla sayıda hastanın monitorize edilebildiği ve daha büyük amplitütlü yanıtların elde edildiği yönündedir. Bu uyarımla hem ipsilateral hem de kontralateral panellerden ve hem alt hem de üst ekstremitelerden yanıt alınabilmektedir. Ancak bu elektrot montajı ile uyarımın neden olduğu hareketin daha büyük olması zaman zaman dezavantaj yaratmaktadır.

Spinal cerrahi sırasında önemli bir hasar mekanizması olan spinal kord iskemisinin yaklaşık olarak 2 dakikalık bir süre içerisinde kas MUP yanıtlarında kayba yol açtığı, bu nedenle 2 dakikalık aralıklarla kayıt alınmasının hedeflenmesi gerektiği belirtilmektedir [69, 91]. Ancak kullandığımız elektrot montajına ve supramaksimal uyarım metoduna bağlı olarak meydana gelen hareketin aşırılığı ve cerrahi sırasında uzun süreli elektrokoter kullanımı nedeniyle kayıtlar düzenli ve sık aralıklarla alınamamaktadır. Bu da olası bir spinal kord hasarının daha geç saptanmasına veya cerrahinin hangi noktasına bağlı oluştuğunu belirleyememize neden olabilir.

Quinones-Hinjoza ve arkadaşları arteriyel anevrizma tamiri sırasında bozulmuş motor iletimin ilk olarak uyarı eşliğinde artışla saptandığını, transkranyal MUP'ların ise daha sonra bozulduğunu gözlemişlerdir. Başka bir çalışmada ise bu yöntemle hem kranial hem spinal cerrahilerdeki motor disfonksiyonun başarılı bir şekilde tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir [58]. Diğer taraftan Skinner ve arkadaşları spinal deformite cerrahisi sırasında hastaların %23'ünde cerrahi süresince dereceli olarak MUP uyarım eşliğinde bazale göre 100 V'un üzerinde artış meydana geldiğini ancak hastalarda postoperatif nörolojik defisit gelişmediğini gözlemişlerdir [9]. Bu sebeple eşik seviye uyarım yönteminin motor yol hasarının uzun dönem sonuçlarının

tahmininden çok, o an oluşan potansiyel bir hasarın doğru tespitinin yapılarak cerraha geri döndürme veya en aza indirme şansı tanımaya hizmet ettiği akılda tutulmalıdır [58].

Kullandığımız İONM cihazının teknik özelliğine bağlı olarak 400V uyarı şiddetinin üzerine çıkılamamasının neden olduğu güçlükler bu yöntemi etkin kullanabilmemize engel olmaktadır.

Santiago-Perez ve arkadaşları, sürekli EMG'nin lumbosakral spinal kök fonksiyonu ile ilgili cerrahi boyunca sürekli bilgi sağlayan basit bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır [92].

Biz de bu modaliteyi özellikle kök hasarı riski bulunan cerrahilerde sıklıkla tercih etmekteyiz. 14 hastadan elde ettiğimiz sürekli EMG kayıtlarında kök irritasyonu veya hasarını düşündüren herhangi bir patolojik aktivite gözlenmemiştir.

Gunnarson ve arkadaşlarının spinal cerrahi sırasında sürekli EMG ve SUP kaydı ile izlem yapılan 213 hastayla yaptıkları çalışmada, sürekli EMG kaydının yeni postoperatif nörolojik defisit saptama duyarlılığının %100 olduğunu ancak belirgin EMG aktivasyonu olan hastalardan sadece %8,5'inde yeni defisit geliştiğini bildirmişlerdir. Owen ve arkadaşları spinal stenoz cerrahileri sırasında sinir köklerinin sürekli EMG izleminde %17,8 oranında aktivasyon gözlendiğini bildirmişlerdir [69]. Soğuk suyla irrigasyon, anestezinin yüzeyelleşmesi gibi faktörlere bağlı da olarak da sürekli EMG kaydında aktivite gözlenebildiği bilinmektedir. Bu sebeple yanlış alarma neden olmamak için hassasiyeti yüksek olan bu modalitenin kullanımında tüm faktörler dikkatlice gözden geçirilmelidir.

Voulgaris ve arkadaşları TkMUP amplitütlerinde %50'den fazla artış olan hastaları belirlemişler ve bu hastalardaki postoperatif iyileşmeyi VAS skoru ile değerlendirmişlerdir. TkMUP amplitütlerinde %50'den fazla artış olan hastalardaki iyileşmenin, amplitütleri hafif artan veya değişmeyen hastalara göre istatistiksel olarak anlamlı ölçüde daha iyi olduğunu gözlemlemişler ve TkMUP'in cerrahi yarar açısından prognostik değerinin olabileceğini ileri sürmüşlerdir [92]. Biz bu çalışmada kronik sağ L4, L5 kök

basısı olan ancak semptomlarında akut alevlenme bulunan bir hastada bu seviyedeki foramenin dekompresyonu sonrasında sağ taraf tibialis anterior kas yanıt amplitüdünde artış izlendi. Hastanın postoperatif değerlendirmesinde ayak bileği dorsifleksiyonu ve başparmak ekstansiyon kuvvetlerinde artış olduğu gözlemlendi. Çeşitli çalışmalarda önceden myelopati var olan bazı hastalarda dekompresyon sonrası MUP amplitütlerinde düzelmeler bildirilmekle beraber, spinal kordun veya sinir köklerindeki uzun süreli yapısal dejeneratif hasarlarında, etken ortadan kaldırılır kaldırılmaz motor fonksiyonlarda iyileşme olması genellikle beklenmemektedir [64]. Bizim olgumuzda gözlenen amplitüt artışı, kronik hasar üzerine eklenen akut kök basısının etkin bir dekompresyonla ortadan kalkmasına bağlı olarak oluşan nörolojik iyileşmenin erken bir göstergesi olabilir.

İONM'un gelişiminden önce Stagnara uyandırma testi hasar varlığını değerlendirmek için sıklıkla kullanılmaktaydı [43]. Uyandırma testleri pek çok kısıtlılığa sahiptir. Test genellikle cerrahi düzeltme işlemi yapıldıktan sonra uygulanmaktadır. Bu durumda değerlendirme hasar meydana geldikten uzun bir süre sonra yapılmış olur ve sorunun hangi aşamada oluştuğunu belirleyemez [38]. Uygulaması uzun zaman alır ve hasta için çok konforsuzdur [93]. Duyusal defisit ile ilgili de bilgi sağlamamaktadır [60]. Aynı zamanda hastanın yeterli düzeyde uyandırılması ve tam olarak koopere olabilmesi gerekmektedir. MİONM'un Gazi Üniversitesinde uygulamaya girmesinden beri İONM ile yeterli bilgi sağlanan hastalarda uyandırma testinden vaz geçilmiştir.

Dejeneratif lumbosakral spinal stenozun dekompresif cerrahisinde enstrumantasyon yapılsın veya yapılmıyın, nörolojik komplikasyonların oranı %1-33 olarak bildirilmektedir [94]. Lumbosakral bölge cerrahileri sırasında delme, vida yerleştirme veya germe sırasında sinir kökleri hasar görebilir [62]. En sık görülen defisit ise L5 sinir kökü hasarına bağlı olarak gelişen düşük ayaktır [62, 95]. Radyolojik olarak başarılı bir dekompresyon ve füzyon işlemi uygulanmış olsa da, gelişen nörolojik komplikasyonlar oldukça

rahatsız edicidir ve radiküler semptomlardaki iyileşmeyi gölgede bırakabilir [94].

Sinir kökü hasarları, revizyon yapılanlarda ve çok seviyeli füzyon uygulanan hastalarda daha sık meydana gelmektedir. Kompleks spinal deformitesi olan hastalarda ise hasar risk daha da artmaktadır [95].

Önceden var olan myelopati de cerrahi sırasında spinal kord yaralanma riskini arttırmaktadır [91]. Çoğunluğunu servikal stenozun oluşturduğu servikal cerrahi yapılan 246 hastada MİOM duyarlılığının %83,3, özgüllüğünü % 99,2 olduğu bildirilmiştir [96].

Sutter ve arkadaşları, lumbosakral cerrahi geçiren 409 hastada yaptıkları prospektif çalışmada intraoperatif spinal ve kortikal uyarılmış potansiyeller, sürekli EMG kaydı ve motor uyarılmış potansiyellerle beraber yapılan multimodal izlemin cerrahi ile ilişkili komplikasyonları azalttığını ve uzun dönem sonuçları iyileştirdiğini gözlemişlerdir. Bu çalışmaya göre MİONM'un duyarlılığını %90, hassasiyetini ise %99,7 olarak rapor etmişlerdir [94].

İONM'un, enstrumantasyonun uygulanmadığı disk cerrahisi ve dekompresif cerrahilerde kullanımı tartışmalı olmasına rağmen intraoperatif görüntülemenin hem maliyeti hem de güvenilirliği göz önüne alındığında, omurga cerrahileri sırasında SUP ve MUP'un birlikte kullanılması nörolojik komplikasyonların önlenmesinde en uygun yöntem olarak gözükmektedir.

Monitorizasyon ekibinin deneyimli olması nörolojik komplikasyonları azaltmanın yanı sıra aynı zamanda yanlış alarmların neden olacağı gereksiz girişim ve zaman kayıplarını önlemek için de en önemli koşuldur. Deneyimli monitorizasyon ekibi ile yapılan cerrahilerdeki nörolojik defisit oranlarının deneyimsiz ekiplerle yapılanla kıyaslandığında yarı yarıya oranda azaltılabildiği bildirilmiştir [45].

Cerrah, İONM ile sağlanan artmış güvenlik duygusu nedeniyle zaman zaman monitorizasyon yapılmadığında cesaret edilemeyecek bazı cerrahi manevraları uygulayabilir. Yanlış güvenlik duygusu, hiç güvenlik olmamasından çok daha kötü sonuçlara neden olabilir [97].

Monitorizasyon, cerrahi ve anestezi ekiplerinin İONM sonuçları ile hastanın nörolojik sonuçları arasındaki ilişkiyi anlaması ve iyi bir işbirliği sağlamaları gereklidir. Anestezi ve cerrahi ekibin nöromonitorizasyonun kapasitesi ve kısıtlılıklarının tam olarak farkında olması oldukça önemlidir. Bu konudaki temel görev monitorizasyon ekibine düşmektedir. Monitorizasyon ekibi bilgiyi sağlamanın yanında cerrahın bunu doğru şekilde anlayıp kabul ettiğinden de emin olmalıdır.

Hastaya en azami faydanın sağlanması tüm ekiplerin primer hedefi olmalıdır. İONM'un başarısı anestezi, cerrahi ve monitorizasyon ekiplerinin birbiri ile iyi iletişim halinde olması ve uyum içinde çalışmasına bağlıdır.

İONM henüz yeni ve gelişmekte olan bir alandır. İONM'un ihtiyaç duyulduğu ve kullanıma girdiği cerrahi prosedürler gün geçtikçe artmaktadır.

Uyumlu ve ortak çalışmanın sonunda Gazi Üniversitesi Hastanesinde de kullanıma giren MİONM, spinal stenoz ve diğer omurga cerrahileri sırasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Yöntemin benimsenmesi ve ekipler arası işbirliğinin sağlanması açısından yüz güldürücü olan bu erken sonuçlara rağmen, daha çok sayıda uygulama ile bu alandaki deneyimin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu sayede spinal stenoz cerrahileri sırasında kalıcı nörolojik hasarın gelişimini önlemede ve hastaların fonksiyonel durumunu ve yaşam kalitesini korumada MİONM'un rolünü daha etkin bir şekilde belirlemek mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR:

- 1) Karaeminoğulları E, "Dejeneratif lomber spinal stenoz", Dejeneratif omurga hastalıkları, Yazar T, Altun N (editörler), **Rekmay yayıncılık**, Türk omurga derneği yayınları:2, Ankara, 373-400 (2007).
- 2) Kalichman L, Cole R, et al, "Spinal stenosis prevalence and association with symptoms: the Framingham study", **The Spine Journal**, 9: 545-550 (2009).
- 3) Genevay S, Atlas SJ, "Lumbar spinal stenosis", **Best practice & Research Clinical Rheumatology**, 24: 253-265 (2010).
- 4) Postacchini F, "Management of Lumbar Spinal Stenosis", **The Journal of Bone and Joint Surgery**, 78-B (1): 154-164 (1996).
- 5) Bernhardt M, et al, "Cervical spondylotic myelopathy", **J. Bone Joint Surg. Am.**, 75: 119-128 (1993).
- 6) Siebert E, Prüss H, et al, "Lumbar spinal stenosis: syndrome, diagnostics and treatment", **Nat. Rev. Neurol.**, 5: 392-403 (2009).
- 7) Cioni B, et al, "Intraoperative motor evoked potentials monitoring in spinal neurosurgery", **Arch Italiennes de Biologie**, 137: 115-126 (1999).
- 8) McDonald, Al-Enazi M, Al-Zayed Z, "Vertebral column surgery", Practical approach to neurophysiologic intraoperative monitoring, In: Husain, Aatif M (Ed), **Demos Medical Publishing, LLC**, New York, 795-816 (2008).
- 9) Lyon R, et al, "Progressive suppression of motor evoked potentials during general anesthesia: The Phenomenon of Anesthetic Fade", **J. Neurosurg. Anesthesiol.**, 17 (1): 13-19 (2005).
- 10) Fast A, Goldsher D, "Anatomy of the spine", Navigating the adult spine, **Demos Medical Publishing, LLC**, New York, 1-8 (2007).
- 11) Barr KP, Harrast MA, "Low back pain", Physical Medicine and Rehabilitation, In: Braddom RL (ed), 3rd edition, **Elsevier**, China, 883-927 (2007).
- 12) Arıncı K, Elhan A, "Anatomi", **Güneş Kitabevi**, Ankara, cilt 2: 284-337 (1995).
- 13) DePhilip RM, McGraw JK, "Spinal anatomy", Interventional Radiology of the Spine, In: McGraw JK (ed), **Humana Press**, New Jersey, 3-20 (2004).
- 14) Strayer W, "Lumbar Spine Surgery: A Guide to Preoperative and Postoperative Patient Care", Lumbar Spine Functional Anatomy and Physiology, American Association of Neuroscience Nurses, **Medtronic**, Illinois, p 4-7 (2006).
- 15) Akuthota V, et al, "Pathogenesis of lumbar spinal stenosis pain: why does an asymptomatic stenotic patient flare?", **Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.**, 14: 17-28 (2003).
- 16) Skyrme AD, Selmon G, Apthorp L. "Anatomy of the thoracolumbar spine", **Remedica**, London, Chapter 3:15-20 (2005).

- 17) İnternet: New York University Hospital Spine center “Muscles and ligaments”, <http://www.med.nyu.edu/hjd/hjdspine/education/anatomy/musclesandligaments/ligaments.html> (2005).
- 18) Hizmetli S, Hayta E, “Lomber spinal stenoz”, Nörolojik Rehabilitasyon, Göksoy T (ed), **Yüce yayıncılık**, İstanbul, 273-288 (2009).
- 19) Spivak J, “Current concepts review: Degenerative Lumbar spinal stenosis”, **The journal of bone and joint surgery**, 80 (7): 1053-1066 (1998).
- 20) Karaeminoğulları O, Aydın U, “Dejeneratif Lomber Spinal Stenoz”, **TOTBİD dergisi**, 3 (3-4): 105-113 (2004).
- 21) Szpalski M, Gunzburg R, “Lumbar spinal stenosis in the elderly: an overview”, **Eur. Spine. J.** 2: S88-93 (2003).
- 22) Sarpyener MA, “Congenital stricture of the spinal canal”, **J. Bone Joint Surg. Am.**, 27: 70-79 (1945).
- 23) Law MD, et al, “Evaluation and management of cervical spondylotic myelopathy”, **J. Bone Joint Surg. Am.**, 76:1420-1433 (1994).
- 24) Edwards CC, et al, “Cervical myelopathy: current diagnostic and treatment strategies”, **The Spine Journal**, 3: 68–81 (2003).
- 25) Özügül Y, “Spondilolizis, Spondilolistezis, Spinal Stenoz”, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon, Beyazova M, Gökçe-Kutsal Y (editörler), **Güneş Kitabevi**, Ankara, S: 1857-1871 (2000).
- 26) Epstein NE, “Laminectomy for cervical myelopathy”, **Spinal Cord**, 41: 317–327 (2003).
- 27) Naylor A. Factors in the development of the spinal stenosis syndrome, **The Journal of bone and joint surgery**, 61-B (3): 306-309 (1979).
- 28) İnternet: Minimally invasive surgery “Treatment of herniated discs”, <http://www.spineuniverse.com/resource-center/smiss/mis-treatment-herniated-discs>, **Vertical Health, LLC** (2009).
- 29) Ciricillo SF, Weinstein PR, “Lumbar spinal stenosis”, **West. J. Med.**, 158:171-177 (1993).
- 30) Braakman R, “Management of cervical spondylotic myelopathy and radiculopathy”, **J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry**, 57: 257-263 (1994).
- 31) Dvorak J, et al, “Cervical myelopathy: clinical and neurophysiological evaluation”, **Eur. Spine J.**, 12 (2): S181-187 (2003).
- 32) Dumitru D, Zwarts MJ, “Radiculopathies”, Electrodiagnostic Medicine, 2nd edition, In: Dumitru D, Amato A, Zwarts M (Eds), **Hanley&Belfus, INC**, Philadelphia, 713-776 (2002).
- 33) Chad DA, “Lumbar Spinal Stenosis” **Neurol Clin**, 25: 407–418 (2007).
- 34) Lurie JD, Birkmeyer NJ, et al, “Rates of advanced spinal imaging and spine surgery”, **Spine**, 28 (6): 616-620 (2003).
- 35) King JC, Lopez JR, Sloan TB, “Intraoperative neurophysiologic monitoring”, Electrodiagnostic Medicine, 2nd edition, In: Dumitru D, Amato A, Zwarts M (Eds), **Hanley&Belfus, INC**, Philadelphia, 439-478 (2002).

- 36) Liem LK, "Intraoperative neurophysiological monitoring", **eMedicine Specialites, Neurology**, [http:// eMedicine.medscape. com/article /1137763/ overview](http://eMedicine.medscape.com/article/1137763/overview) (2010).
- 37) Ulkatan S, et al, "Monitoring of scoliosis surgery with epidurally recorded motor evoked potentials (D wave) revealed false results", **Clinical Neurophysiology**, 117: 2093-2101(2006).
- 38) Luk K, et al, "Evaluation of various evoked potential techniques for spinal kord monioring during scoliosis surgery", **Spine**, 26 (16): 1772-1777 (2001).
- 39) Sala F, et al, "Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how?", **Child's Nerv. Syst.**, 18:264-287 (2002).
- 40) Deletis V, "Basic methodological principles of multimodal intraoperative monitoring during spine surgeries", **Eur Spine J**, 16 (2): 147-152 (2007).
- 41) MacDonald DB, "Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update", **Journal of clinical monitoring and computing**, 20:347-377 (2006).
- 42) Brown RH, Nash CL, "Current status of spinal cord monitoring", **Spine**, 4 (6): 466-470 (1979).
- 43) Pajewski T, et al, "Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon", **Eur. Spine J.**, 16 (2): S115-129 (2007).
- 44) Toleikis JR, "Intraoperative Monitoring Using Somatosensory Evoked Potentials: A Position Statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring", **Journal of Clinical Monitoring and Computing**, 19: 241-258 (2005).
- 45) Minahan RH, "Intraoperative neuromonitoring", **The Neurologist** , 8: 209-226 (2002).
- 46) Minahan R, Mandir A, "Basic neurophysiologic intraoperative monitoring techniques", Practical approach to neurophysiologic intraoperative monitoring, In: Husain, Aatif M (Ed), **Demos Medical Publishing, LLC**, New York, 21- 44 (2008).
- 47) Iwasaki et al, "Efficacy and limitations of current methods of intraoperative spinal cord monitoring", **J. Orthop. Sci.**, 8:635-642 (2003).
- 48) Jameson LC, Sloan TB, "Monitoring of the Brain and Spinal Cord", **Anesthesiology Clin.**, 24: 777–791 (2006).
- 49) Seyal M, Mull B, "Mechanisms of signal change during intraoperative somatosensory evoked potential monitoring of the spinal cord", **Journal of Clinical Neurophysiology**, 19 (5): 409-415 (2002).
- 50) Leppanen RE, "Intraoperative Monitoring of segmental spinal nerve root function with free-run and electrically-triggered electromyography and spinal cord function with reflexes and F-responses: A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring", **Journal of Clinical Monitoring and Computing**, 19: 437-461(2005).

- 51) MacDonald M, et al. "Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory-evoked potentials from the lower and upper extremities", **Spine**, 28 (2): 194-203 (2003).
- 52) Chandanwale AS, et al, "Intra-operative somatosensory-evoked potential monitoring", **Journal of Orthopaedic Surgery** 16 (3): 277-280 (2008).
- 53) Internet: Faculty of Washington "Neuroscience for kids: 10-20 system of electrode placement, <http://faculty.washington.edu/chudler/1020.html>, (2009).
- 54) American Clinical Neurophysiology Society, "Guideline 9D: Guidelines on Short-Latency Somatosensory Evoked Potentials-Standards for short latency somatosensory evoked potentials", **Journal of Clinical Neurophysiology**, 23 (2): 168-179 (2006).
- 55) Dumitru D, Lawrance RR, Zwarts MJ, "Somatosensory evoked potentials", Electrodiagnostic Medicine, 2nd edition, In: Dumitru D, Amato A, Zwarts M (Eds), **Hanley&Belfus, INC**, Philadelphia, 357-414 (2002).
- 56) Dawson EG, Sherman JE, et al, "Spinal cord monitoring: Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey", **Spine**, 16 (8): S361-364 (1991).
- 57) Jones SJ, Buonamassa S, et al, "Two cases of quadriplegia following anterior cervical discectomy, with normal perioperative somatosensory evoked potentials", **J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry**, 74(2): 273-276 (2003).
- 58) Calancie B, Molano MR, "Alarm criteria for motor-evoked potentials", **Spine**, 33 (4): 406-414 (2008).
- 59) MacDonald DB, "Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring", **J. Clin. Neurophysiol.**, 19 (5): 416-429 (2002).
- 60) Pelosi L, et al, "Combined monitoring of motor and somatosensory evoked potentials in orthopaedic spinal surgery", **Clinical Neurophysiology**, 113: 1082-1091 (2002).
- 61) Calancie B, Klose KJ, et al, "Isoflurane-induced attenuation of motor evoked potentials caused by electrical motor cortex stimulation during surgery", **J. Neurosurg.**, 74(6): 897-904 (1991).
- 62) Holland NR, "Lumbosacral surgery", Practical approach to neurophysiologic intraoperative monitoring", In: Husain, Aatif M (Ed), **Demos Medical Publishing, LLC**, New York, 9: 139-154 (2008).
- 63) Kothbauer KF, "Intraoperative Neurophysiologic Monitoring for Intramedullary Spinal Cord Tumor Surgery", **Clinical Neurophysiology**, 37: 407-414 (2007).
- 64) Haghighi SS, "Monitoring of motor evoked potentials with high intensity repetitive transcranial electrical stimulation during spinal surgery", **J. Clin. Monit.**, 17: 301-308 (2002).
- 65) Tabaraud F, Boulesteix JM, et al, "Monitoring of the motor pathway during spinal surgery", **Spine**, 18 (5): 546-550 (1993).

- 66) Weinzierl MR, et al, "Combined motor and somatosensory evoked potentials for intraoperative monitoring: intra- and postoperative data in a series of 69 operations", **Neurosurg. Rev.**, 30: 109-116 (2007).
- 67) Schwartz DM, et al, "Neurophysiological identification of position-induced neurologic injury during anterior cervical spine surgery", **Journal of Clinical Monitoring and Computing**, 20 (6): 437-444 (2006).
- 68) Alemo S, Sayadipour A, "Role of intraoperative neurophysiologic monitoring lumbosakral spine fusion and instrumentation: a retrospective study", **Spine**, 73 (1): 72-76 (2009).
- 69) Gunnarson T, et al, "Real-Time Continuous Intraoperative Electromyographic and Somatosensory Evoked Potential Recordings in Spinal Surgery: Correlation of Clinical and Electrophysiologic Findings in a Prospective, Consecutive Series of 213 Cases", **Spine**, 6: 677-684 (2004).
- 70) Leppanen RE, "Intraoperative applications of the H-reflex and F-response: A tutorial", **Journal of Clinical Monitoring and Computing**, 20: 267-304 (2006).
- 71) Jameson LC, et al, "Electrophysiologic Monitoring in Neurosurgery", **Anesthesiology Clin.**, 25: 605-630 (2007).
- 72) Bose B, et al, "Neurophysiologic monitoring of spinal nerve root function during instrumented posterior lumbar spine surgery", **Spine**, 27 (13): 1444-1450 (2002).
- 73) Cui H, et al, "Effects of physiological parameters on intraoperative somatosensory-evoked potential monitoring: Results of a multifactor analysis", **Med. Sci. Monit.**, 15 (5): 226-230 (2009).
- 74) Zentner J, Albrecht T, et al, "Influence of halothane, enflurane and isoflurane on motor evoked potentials", **Neurosurgery**, 31 (2): 298-305 (1992).
- 75) Sakamoto T, Kawaguchi M, et al, "Suppressive effect of nitrous oxide on motor evoked potentials can be reversed by train stimulation in rabbits under ketamine/fentanyl anaesthesia, but not with additional propofol", **Br. J. Anaesth.**, 86 (3): 395-402 (2001).
- 76) Kunisawa T, Nagata O, et al, "A comparison of the absolute amplitude of motor evoked potentials among groups of patients with various concentrations of nitrous oxide", **J. Anesth.**, 18 (3): 181-184 (2004).
- 77) Nathan N, Tabaraud F, et al, "Influence of propofol concentrations on multipulse transcranial motor evoked potentials", **Br. J. Anesth.**, 91(4): 493-497 (2003).
- 78) Ubags LH, Kalkman CJ, Been HD, "Influence of isoflurane on myogenic motor evoked potentials to single and multiple transcranial stimuli during nitrous oxide/opioid anesthesia", **Neurosurgery**, 43 (1): 90-94 (1998).
- 79) Kalkman CJ, Ubags LH, et al, "Improved amplitude of myogenic motor evoked responses after paired transcranial electrical stimulation during sufentanil/nitrous oxide anesthesia", **Anesthesiology**, 83: 270-276 (1995).

- 80) Helmers SL, Brustowicz R, "The effect of intravenous lidocaine on somatosensory evoked potentials during scoliosis surgery", **Anesthesia & Analgesia**, 85 (1): 228 (1997).
- 81) Horiuchi T, et al, "Effects of epidural administration of lidocaine andropivacaine on myogenic motor evoked potentials: 3AP6-4", **European Journal of Anaesthesiology**, 24: 27 (2007).
- 82) Dzikiti TB, et al, "Effects of intravenous lidocaine on isoflurane concentration, physiological parameters, metabolic parameters and stress-related hormones in horses undergoing surgery", **Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med.**, 50(4): 190-195 (2003).
- 83) Himes RS, et al, "Effects of lidocaine on the anesthetic requirements for nitrous oxide and halothane", **Anesthesiology**, 47 (5): 437-440 (1977).
- 84) Wagner RL, White PF, et al, "Inhibition of adrenal steroidogenesis by the anesthetic etomidate", **N. Engl. J. Med.**, 310 (22): 1415-1421 (1984).
- 85) Wilson-Holden TJ, Padberg AM, et al, "Efficacy of intraoperative monitoring for pediatric patients with spinal cord pathology undergoing spinal deformity surgery", **Spine**, 24(16): 1658-1692 (1999).
- 86) Hilibrand AS, et al, "Comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring during cervical spine surgery", **The journal of bone and joint surgery**, 86-A (6): 1248-1253 (2004).
- 87) Sala F, et al, "Cost effectiveness of multimodal intraoperative monitoring during spine surgery", **Eur. Spine J.**, 16 (2): S229-231(2007).
- 88) Lo YL, et al, "The value of bilateral ipsilateral and contralateral motor evoked potential monitoring in scoliosis surgery", **Eur. Spine J.**, 17 (2): S236-S238 (2008).
- 89) MacDonald DB, et al, "Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory-evoked potentials from the lower and upper extremities", **Spine**, 28 (2): 194-203 (2003).
- 90) Szelenyi A, et al, "Transcranial electric stimulation for intraoperative motor evoked potential monitoring: Stimulation parameters and electrode montages", **Clinical Neurophysiology**, 118: 1586-1595 (2007).
- 91) Sutter M, et al, "Current opinions and recommendations on multimodal intraoperative monitoring during spine surgeries", **Eur. Spine J.**, 16 (2): S232-237 (2007).
- 92) Voulgaris S, et al, "Continuous intraoperative electromyographic and transcranial motor evoked potential recordings in spinal stenosis surgery", **Journal of Clinical Neuroscience**, 17: 274-276 (2010).
- 93) Strahm C, et al, "Reliability of perioperative SSEP recordings in spine surgery", **Spinal Cord**, 41: 483-489 (2003).

- 94) Sutter MA, et al, "Multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during 409 lumbosakral surgical procedures in 409 patients", ***Eur. Spine J.***, 2: S221-228 (2007).
- 95) Pateder DB, Kostuik JP, "Lumbar Nerve Root Palsy After Adult Spinal Deformity Surgery", ***Spine***, 30 (14): 1632-1636 (2005).
- 96) Eggspuehler A, et al, "Multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during cervical spine surgical procedures in 246 patients", ***Eur Spine J.***, 16 (2): S209-215 (2007).
- 97) Gue´rit JM, "Neuromonitoring in the operating room: why, when, and how to monitor?", ***Electroencephalography and clinical Neurophysiology***, 106: 1-21(1998).

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Nurdan

Soyadı: Oruçoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir-01.08.1981

Eğitimi:

2006-2010; Gazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı (Tıpta uzmanlık)

1999-2005; Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi

1998-1999; Sıdika Rodop Lisesi, İzmir

1992-1998; Karşıyaka Anadolu Lisesi, İzmir

Yabancı Dili: İngilizce

Üye Olduğu Bilimsel Kuruluşlar:

Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyonu Uzman Hekimler Derneği

Türkiye Romatizma Araştırma ve Savaş Derneği

El Hastalıkları ve Rehabilitasyonu Derneği

Bilimsel Etkinlikleri

Ulusal yayınlar:

Beyazova M, Şenköylü A, Zinnuroğlu M, Güngör İ, Oruçoğlu N, Erden Z, Tezel T, Erdoğan Z, Öztürk GT, Suluova F, Altun NŞ, "Omurga Cerrahisinde intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon: Gazi Tıp deneyimi", *The Journal of Turkish Spinal Surgery*, 21 (1): 49-58 (2010).

Uluslararası kongrelerde poster sunumları:

Erdoğan Z, Benli-Küçük E, Oruçoğlu N, Beyazova M, "Hemineglect syndrome and electromyographic reaction time", 5th. World Congress of the International Society of Physical Medicine and Rehabilitation, June 13-17, 2009, İstanbul, Turkey.

Kaymak-Karataş G, Utkan A, Oruçoğlu N, "Effect of fatigue on physical function in patients with stroke", 5th. World Congress of the International Society of Physical Medicine and Rehabilitation, June 13-17, 2009, İstanbul, Turkey.

Ulusal kongrelerde poster sunumları:

Oruçoğlu N, Beyazova M, Zinnuroğlu M, Çeviker N, Şenköylü A, Güngör İ, Erden Z, Barutçu FG, "Spinal dar kanal cerrahisinde multimodal intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon", 4. Ulusal Yaşlı Sağlığı Kongresi, 1-4 Nisan 2010, İzmir, Türkiye.

Ulusal kongrelerde sözel bildiri:

Beyazova M, Altun N, Çeviker N, Karabıyık L, Zinnuroğlu M, Öztürk GT, Erden Z, Oruçoğlu N, Şenköylü A, “Omurga Cerrahisinde İntraoperatif Spinal Kord Monitorizasyonu: Gazi Üniversitesi Deneyimi”, 21. Ulusal Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, 3-8 Kasım 2009, İzmir, Türkiye

Erdoğan Z, Benli-Küçük E, Oruçoğlu N, Karataş-Kaymak G, Beyazova M, “Biceps braki kasında fleksiyon ve supinasyonda innervasyon zonu lokalizasyonu”, 25. Ulusal Klinik Nörofizyoloji EEG-EMG kongresi, 15-19 Nisan 2010, Antalya, Türkiye

Erdoğan Z, Benli-Küçük E, Oruçoğlu N, Beyazova M, “İhmal sendromunda elektromiyografik reaksiyon zamanı” 25. Ulusal Klinik Nörofizyoloji EEG-EMG kongresi, 15-19 Nisan 2010, Antalya, Türkiye

Beyazova M, Şenköylü A, Zinnuroğlu M, Güngör İ, Kaya K, Oruçoğlu N, Erden Z, Tezel T, Erdoğan Z, Öztürk GT, Suluova F, Altun NŞ, “Omurga cerrahisinde intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon”, 26. Ulusal Klinik Nörofizyoloji EEG-EMG kongresi, 31 Mart-4 Nisan 2010, Antalya, Türkiye

Beyazova M, Zinnuroğlu M, Emmez H, Kaya K, Özköse HZ, Baykaner MK, Erden Z, Oruçoğlu N, Öztürk GT, Erdoğan Z, Tethered kord sendromu cerrahisinde intraoperatif nörofizyolojik monitorizasyon, 26. Ulusal Klinik Nörofizyoloji EEG-EMG kongresi, 31 Mart-4 Nisan 2010, Antalya, Türkiye