



Servikal Spinal Dejeneratif Hastalıkların Cerrahisinde İntraoperatif Nöromonitörizasyon Kullanımı

Usage of Intraoperative Neuromonitorization in the Surgery of Cervical Spinal Degenerative Diseases

Aydın Talat BAYDAR¹, Özgür AKŞAN², Hüseyin Berk BENEK³, Ahmet Gürhan GÜRÇAY⁴, Ali DALGIÇ⁵

¹Başakşehir Çam Sakura Şehir Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Aydın Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

³Sağlık Bilimleri Üniversitesi İzmir Bozyaka Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İzmir, Türkiye

⁴Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi A.D., Ankara, Türkiye

⁵Medicana Ankara Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, Ankara, Türkiye

Yazışma adresi: Balkan ŞAHİN ✉ drbalkansahin@gmail.com

ÖZ

Dejeneratif omurga, ileri yaştaki hastalarda ciddi morbidite riski oluşturur. İntraoperatif nörofizyolojik monitörizasyon (İONM) modern spinal cerrahide kullanımı giderek artan ve kayda değer düzeylerde cerrahi güvenlik artışı sağlayabilen tanısal bir yöntemdir. Hastaların ameliyat esnasında nörolojik durumlarının bilinmesi önemlidir. Cerrahi sırasında spontan olarak yapılan manevra ve manipülasyonlar ile en iyi cerrahi sonucun ortaya çıkmasına olanak sağlar. İONM modern spinal cerrahide kullanımı giderek artan ve kayda değer düzeylerde cerrahi güvenlik artışı sağlayabilen tanısal bir yöntemdir. Doğru kullanımı ile; ameliyat esnasında omurilik ve sinir köklerinin fonksiyonel durumları hakkında cerraha anlık olarak bilgi akışı sağlayarak, önleyici veya düzeltici uygulama ve manevralarla geri dönüşsüz nöral hasarın önüne geçilmesine katkı sağlar. İONM kullanımının servikal spinal dejeneratif hastalıkların cerrahisinde olumsuz nörolojik sonuçları tespit etmede etkin olduğunu gösteren kanıtlar giderek artmaktadır; ancak yüksek kanıt düzeyi olan prospektif çalışmalar henüz yetersiz olduğundan günümüzde kullanımı cerrahin tercihi ve yerel enstitü imkânlarına bağlıdır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Servikal, Nöromonitörizasyon, Dejeneratif

ABSTRACT

Degenerative spine poses a serious risk of morbidity in elderly patients. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is a diagnostic method that is increasingly used in modern spinal surgery and can provide a significant increase in surgical safety. It is important to know the neurological status of the patients during surgery. Spontaneous maneuvers and manipulations during surgery allow the best surgical result to be achieved. IONM is a diagnostic method that is increasingly used in modern spinal surgery and can provide a significant increase in surgical safety. With its correct use, it contributes to the prevention of irreversible neural damage with preventive or corrective applications and maneuvers by providing instantaneous information flow to the surgeon about the functional status of the spinal cord and nerve roots during the operation. There is increasing evidence that the use of IONM is effective in detecting adverse neurological outcomes during the surgery of cervical spinal degenerative diseases; however, since prospective studies with high levels of evidence are still insufficient, its use today depends on the surgeon's preference and local institute facilities.

KEYWORDS: Cervical, Neuromonitoring, Degenerative

■ GİRİŞ

Dejenereatif omurga, ilerleyen ortalama yaşam süresiyle birlikte ileri yaşta hastalarda ciddi morbidite riski teşkil eder. İntervertebral diskler, omurganın ligamanları ve kemik yapılarında zaman içinde meydana gelen değişiklikler, omurganın karşılaştığı biyomekanik güçlere uyumunu kısıtlar ve nöral dokuda hasar riski oluşturur. Servikal omurgada dejeneratif süreç sonunda myelomalazi veya radiküler bası oluşabileceği gibi, deformiteler de ortaya çıkabilir.

Servikal spinal dejeneratif hastalıkların cerrahisinde temel olarak dekompresyon ve/veya stabilizasyon yani füzyon amaçlanmaktadır. Günümüzde ana yaklaşımlar anterior ya da posterior yolla yapılmakta olup sıklıkla diskektomi, korpektomi, laminoplasti, laminektomi ile lateral mass ve pedikül vidaları, kafes, plak gibi implant veya greft yerleştirilmesi yapılmaktadır.

Hastaların ameliyat esnasında nörolojik durumlarının bilinmesi, cerrahi sırasında spontan olarak yapılan manevra ve manipülasyonlar ile en iyi cerrahi sonucun ortaya çıkmasına olanak sağlar. Bu anlamda geçmişte en sık kullanılan yöntem uyarılma testi (Stagnara testi) olup bu test duyarlı ancak spesifik değildir. Nörolojik hasarın ameliyatın hangi aşamasında oluştuğunun bilinmesine olanak vermeyen bu yöntem, sadece ciddi nörolojik kayıpların farkedilmesini sağlaması ve toplam cerrahi sürenin oldukça uzamasına neden olması sebebiyle kısıtlıdır. Günümüzde gelişen teknolojilerle yerini intraoperatif nörofizyolojik monitörizasyon (İONM)'a bırakmıştır.

İntraoperatif nörofizyolojik monitörizasyon (İONM) modern spinal cerrahide kullanımı giderek artan ve kayda değer düzeylerde cerrahi güvenlik artışı sağlayabilen tanınmış bir yöntemdir. Doğru kullanımı ile; ameliyat esnasında omurilik ve sinir köklerinin fonksiyonel durumları hakkında cerraha anlık olarak bilgi akışı sağlayarak, önleyici veya düzeltici uygulama ve manevralarla geri dönüşsüz nöral hasarın önüne geçilmesine katkı sağlar (11).

American Academy of Neurology tarafından 2012 yılında yayımlanan rehberlere göre, spinal cerrahi sırasında İONM kullanımı paraparezi, parapleji veya kuadripleji gibi olumsuz sonuçların öngörülmesinde efektif bulunmuştur (25); ancak "spinal cerrahi" kadar geniş bir tabirin kullanımı ve cerrahi girişimin tipine göre risklerin yadsınamaz ölçüde değişebileceğinin göz önüne alınmaması açısından eleştirilmektedir.

Deformite ve intramedüller patolojilerin cerrahisinde İONM kullanımının faydalı olduğunu gösteren çok sayıda yayın bulunmaktadır; ancak günümüz uygun maliyetli tıbbi inovasyon çağında özellikle nörolojik komplikasyon gelişme riski düşük olduğu bilinen servikal dejeneratif hastalıkların cerrahisi, mikrodiskektomi, laminektomi, pedikül vidası yerleştirilmesi gibi prosedürlerde kullanımı ile ilgili çelişkili bilgiler mevcuttur (2,7,18,27).

Başarılı İONM kullanımı; cerrah, anesteziyolog ve nörofizyolog arasında iyi bir iletişim, vakaya uygun olarak kullanılacak modalitelerin belirlenmesi ve cerrahi planın açık bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. İONM etkinliğinde anesteziyologun da önemli bir payı bulunmaktadır; uyarılmış potansiyeller merkezi ve periferik vücut sıcaklığı, ortalama arteriel basınç, hemoglo-

bin düzeyi gibi dalgalı seyredebilen fizyolojik parametrelerden kolaylıkla etkilenebileceği için bunların takibi ve ideal aralıkta tutulması kritiktir.

■ NÖROMONİTÖRİZASYON MODALİTELERİ

Günümüzde İONM ile değerlendirme için en sık kullanılan teknikler (a) somatik duyuusal uyarılmış potansiyeller (SSEP – Somatosensory sensory evoked potentials), (b) motor uyarılmış potansiyeller (MEP – motor evoked potentials) ve (c) spontan ve tetiklenen elektromyografi (EMG) şeklindedir (21).

SSEP

Dorsal kolon bütünlüğünün SSEP ile monitörize edilmesi spinal cerrahide en sık kullanılan İONM tekniğidir. Bu teknikte uyarıcı elektrotlar, periferik sinirlerden dorsal köklere, oradan da dorsomedial traktuslar vasıtasıyla kontralateral duyuusal kortekse iletilen tekrarlayıcı aksiyon potansiyelleri oluşturur. Bu yolak boyunca platinyum subdermal iğne elektrotlar ile çeşitli bölgelerden kayıt alınabilir.

Üst ekstremitenin İONM ile SSEP değerlendirmesi için median ve ulnar sinirler stimüle edilirken; alt ekstremitede değerlendirme için posterior tibial sinir stimülasyonu kullanılmaktadır. Bipolar stimülasyon teknikleri (hem anot hem katot yerleştirilmesini gerektirir) tipik olarak tercih edilirken standart elektrotlar ile uyarı amplitüdü 20 ila 40 miliamper (mA) arasında değişmektedir. SSEP tekniği ile yapılan değerlendirmelerde gerekli olan sinyal filtreleme nedeniyle nöral hasar ile sinyal değişiklikleri arasında MEP uyarılarına kıyasla 16 dakikaya kadar gecikme yaşanabilmektedir (18).

Anestezi indüksiyonu ardından en kısa sürede SSEP bazal değerleri tespit edilmeli ve operasyon boyunca alınacak değerler ile kıyaslanmak üzere kayıt edilmelidir. Sinyal amplitüdünde %50 azalma ve buna eşlik eden sinyal gecikmesinde %10'luk bir artış olası nöral hasarı gösterir (18) ve nörofizyolog bu durumda cerrahi uyarmalıdır. SSEP değişiklikleri yapabilen cerrahi dışı etkenler (inhalasyon anestetikleri kullanımı, anestezi derinliği, hipotermi, hipotansiyon gibi) gözden geçirilmeli; amplitüd ve sinyal hızı değişikliklerinin sebebinin cerrahi manipülasyon olduğuna kanaat getirilmesi hâlinde ise cerrahi manevranın durdurulması ve mümkünse geri alınması, spinal kord perfüzyonunu artırmak üzere anestezi ekibiyle koordine bir çaba ve intraoperatif steroid veya ek medikal tedavi kullanımı gereklidir.

Sürekli sinyal alımı SSEP'in en önemli avantajlarından biridir. Yaygın olarak bulunması, kıyasla makul fiyatlı olması ve kolay kurulmasına karşın; SSEP ile yalnızca somatik duyuusal değerlendirme yapılabilmesi nedeniyle gelişebilecek motor defisitlerin gözden kaçırılması olasıdır. Bu nedenle MEP ve/veya EMG ile birlikte kullanımı önerilmektedir.

MEP

Serebral motor korteksin transkranyal olarak elektriksel veya manyetik uyarımı ile kas aktivasyonu oluşması, motor defisitlerin intraoperatif olarak tespit edilmesinde kullanılan bir diğer monitörizasyon tekniğidir (23). Kortikal uyarılara gelen yanıtlar EMG ile birleşik kas aksiyon potansiyelleri (CMAP) üzerinden

veya riskli bölgenin kaudaline yerleştirilen epidural elektrotlar ile (D-dalgaları) ölçülür.

Transkranyal MEP'in **CMAP** ile kullanımıyla motor korteksten başlayan, kortikospinal traktus, sinir kökü ve periferik sinir olarak ilerleyen bütün motor aksın değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. MEP uyarısı motor aksı değerlendirmek için hareketi tetiklemelidir; dolayısıyla anestezide nöromusküler blok (paralize edici ajanların kullanımı) ile MEP tekniği kullanılamaz. MEP'in diğer dezavantajı ise SSEP gibi sürekli sinyal alımı olmadan, aralıklarla değerlendirilebilmesi ve hastanın hareketi sebebiyle cerrahi risk oluşturabileceği için ancak cerrahın belirttiği aralıklarla kontrol edilebilmesidir. CMAP ile değerlendirmede uyarı kriteri olarak birkaç farklı yöntem tanımlanmıştır. Bu çalışmalardan birinde amplitüde %70 bir düşüşün postoperatif nörolojik kayıp (geçici ahrazlar dahil) için %95 sensitif ve %91 spesifik olduğu tespit edilmiştir (17). Bir diğerinde ise amplitüdden bağımsız olarak CMAP aktivasyonu için gereken eşik değeri belirlenmiş ve bu eşik değerde 100 Volt (V) ve üzeri artışların postoperatif motor kayıplar için %100 sensitif ve %100 spesifik olduğu bildirilmiştir (4).

Direkt dalgalar (**D-Dalgaları**) CMAP gibi transkranyal uyarılar ile değerlendirilir; ancak D-Dalgaları spinal kord düzeyinde cerrahi sahanın kaudaline yerleştirilen epidural elektrotlar ile monitörize edilir. Bu ölçümün CMAP'a üstünlüğü nöromusküler blokaja izin vermesi ve anestezide kısıtlamalarından etkilenmemesidir; ancak sinir köklerinin ve kauda equina'nın değerlendirilmesine olanak vermez. Kullanımı bu nedenle intramedüller spinal kord tümör rezeksiyonu ile sınırlı kalmaktadır (12). D-dalgalarında %20'lik bir düşüş ile cerrah uyarılmalı; %50'lik bir düşüşün ise ciddi nörolojik hasar belirteci olduğu bilinmelidir (8,20).

EMG

EMG spinal cerrahide özellikle sinir kökü yaralanmasının monitörizasyonu ile tespitinde; gergin omurilik serbestleştirilmesi, pedikül vidası yerleşimi, sinir kökü dekompresyonu ya da lateral lomber yaklaşımlar gibi işlemlerde özellikle değerlidir. Sürekli olarak free-run EMG (frEMG) ya da tetiklenerek

(tEMG) monitörizasyonu mümkündür. Her iki teknikte de, alt ekstremitelerde; quadriceps femoris, biceps femoris, tibialis anterior, gastrocnemius, üst ekstremitelerde ise deltoid, biceps, triceps, tenar ve hipotenar kaslara yerleştirilen çelik iğne elektrotlar kullanılır.

Bipolar bir prob yardımıyla dokuya aktarılan 10 mA'den düşük, monofazik elektrik akımı ile nöral doku varlığına tespitine yarayan tEMG, özellikle skar, tümör, filum terminale gibi şüpheli dokuların tanınmasında cerraha yol göstericidir. Özellikle gergin omurilik serbestleştirilmesi sırasında tEMG kullanımı normal anatomik yapıların tanınmasına yardımcı olur. Lateral lomber yaklaşımlarda iliopsoas içinde seyreden lomber pleksustan sakınmak için de frEMG ve tEMG kullanılabilir. Başı altındaki sinir köklerinde direkt tEMG uyarısı gönderebilmek için 10mA üzerine çıkılması gerekmektedirken bir başka sinir kökünde 5-7 mA yeterli olabilmektedir (14).

■ SERVİKAL DEJENERATİF OMURGA CERRAHİSİNDE NÖROMONİTÖRİZASYON

Servikal dejeneratif omurgaya yapılan cerrahi girişimlerde temelde dekompresyon, stabilizasyon ve biyomekanik olarak uygun dizilimin sağlanması amaçlanırken; nörolojik durumun korunması veya iyileştirilmesi ve ağrının dindirilmesinin yanı sıra deformite eşlik eden olgularda çene-kaş vertikal açısı (CBVA) düzeltilmesi ile horizontal bakışın restorasyonu sağlanmaya çalışılır. Bu girişimlerde İONM kullanımının seçilmiş vakalarda nörolojik kayıpların anında tespitine ve bazı durumlarda geri döndürülebilmesine fayda sağlayacağı tartışılmaktadır; ancak cerrahi süreyi uzatması, maliyeti ve anterior servikal diskektomi gibi servikal dejeneratif omurgaya yapılan bazı girişimlerde beklenen nörolojik hasar riski düşük olduğundan rutin kullanımı üzerine bir konsensus sağlanamamıştır; ancak kullanımı gün geçtikçe daha çok benimsenmektedir (15).

Servikal dejeneratif hastalıkların cerrahisinde İONM kullanımı operasyon esnasında duyuşal traktusların takibi haricinde, cerrahi pozisyon verme esnasında da spinal kordun ve sinir köklerinin monitörizasyonuna da olanak vermektedir. Başa

Tablo 1: Nöromonitörizasyon Modaliteleri Faydaları ve Kısıtlılıkları

Modaliteler	SSEP	MEP/CMAP	D Dalgaları	frEMG	tEMG
Faydaları	Sürekli takip, Nöromusküler blokaj ile kullanılabilir	Motor kayıplara yüksek sensitivite, anında geri bildirim, tüm motor aksinin değerlendirilmesi	Intramedullar tümör rezeksiyonunda uzun dönem motor fonksiyon korrelasyonu yüksek, nöromusküler blokaj altında ve sürekli takip yapılabilir	Sinir kökü hasarına duyarlı, anında geri bildirim ile sürekli takip, SSEP ile kombine edilerek spesifikite artırılabilir	Medial pedikül ihlali için en spesifik, minimal invazif cerrahide kullanışlı, kullanımı ve anlaması kolay
Kısıtlılıkları	Sinyal değişikliklerinde gecikme, motor kayıplara düşük sensitivite, anterior spinal hasarda değişmeyebilir	Sürekli takip yapılamaz, nöromusküler blokaj kullanılamaz, anestezide çok duyarlı	Deformite cerrahisinde yüksek yalancı pozitiflik, sinir kökünü değerlendirmez	Yüksek yalancı pozitiflik, ısı değişikliklerinden kolay etkilenir, nöromusküler blokaj yapılamaz	Optimal alarm kriteri net değil, saha kanlı ise veya pediküle birden çok giriş yapıldıysa yalancı pozitif olabilir

verilecek fazla ekstansiyon veya fleksiyon servikal omurgaya hasar verebileceği gibi intraoperatif radyolojik görüntülemelerde netlik için omuzların kaudale çekilmesi sırasında brakial pleksus hasarı da oluşabilmektedir. Bu esnada hastanın monitörize ediliyor olması basit düzeltmelerle nöral hasar riskini ortadan kaldırabilir (3,28).

SSEP'in motor fonksiyonu değerlendirmede düşük sensitivitesi nedeniyle ameliyat esnasındaki SSEP değişiklikleri her zaman nörolojik hasarın göstergesi olmayabilir (22). Bu nedenle günümüzde özellikle kompleks servikal spinal cerrahide diğer monitörizasyon modaliteleri ile birlikte kullanımı önerilmektedir (8). Öte yandan MEP ile İONM yapılan hastalarda peroperatif nörolojik hasarın tespitinde yüksek isabet oranı saptandığını gösteren birçok çalışma vardır. Clark ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada dejeneratif servikal myelopati nedeniyle opere edilen hastalarda MEP ile nöromonitörizasyonun, postoperatif nörolojik defisitlerin tayininde %71 sensitivite ve %94 spesifitesi olduğu bildirilmiş olup, aynı çalışmada dejeneratif olmayan hasta grubunda bu oranlar daha düşük tespit edilmiştir (5). Kim ve ark. tarafından yayınlanan bir diğer çalışmada SSEP ve MEP'in birlikte nöromonitörizasyon için kullanıldığı anterior servikal diskektomi ve füzyon (ACDF) yapılan 200 hastalık bir seride, hem tek hem de çoklu seviye cerrahide, çok kanallı MEP'in, postoperatif nörolojik defisit için SSEP'e kıyasla daha spesifik ve sensitif olmasının yanısıra pozitif ve negatif prediktif değerleri de daha yüksek bulunmuştur (16). Benzer şekilde Fujiwara ve ark. yayınladığı bir çalışmada laminoplasti yapılan hastalarda C5 palsi gelişme riskini değerlendirmiş; çok kanallı MEP ile akut başlangıçlı C5 palsinin %100 sensitivite ve spesifite ile saptandığı belirtilmiştir (13). %50 üzerinde dalga amplitüdünde düşüş bu çalışmada prediktif eşik değer olarak saptanmıştır.

Djurasovic ve ark. tarafından bildirilen bir çalışmada posterior servikal fiksasyon için servikal lateral mass veya pedikül vidası yerleştirilen hastalarda İONM, EMG modalitesi ile kullanılmış ve vidaların yerlerinin teyidinde kullanışlı olduğu saptanmıştır. 15 mA üzerinde stimülasyon değerleri güvenilir bir şekilde vida yerleşiminin doğru olduğunu gösterirken 10-15 mA arası değerler vidanın kabul edilebilir yerleşimde olduğu ancak eksplorasyonun önerildiği aralıktır. 10 mA altında değerler ise vida malpozisyonu olduğunu gösterir (9).

SSEP'in tek başına kullanımının yalancı pozitiflikler nedeniyle yetersizliği, MEP'in ise sürekli alınamaması ve anestezi kaynaklı kısıtlamalar, servikal dekompresyon cerrahisinde İONM etkinliğini artırmak için bu iki modalitenin birlikte kullanımının mümkün olduğunda EMG'nin eklenmesinin yaygınlaşmasını sağlamıştır (8). Multimodal intraoperatif nöromonitörizasyon (MIONM), Eggspuehler ve ark. tarafından yapılan ve çoğunluğu dejeneratif servikal stenoz hastalarından oluşan 246 hastalık bir çalışmada, %83.3 sensitivite ve %99.2 spesifite ile peroperatif nörolojik hasarı tespit ettiği gösterilmiştir (10). Dejeneratif servikal spondiloz nedeniyle laminoplasti yapılan hastalarda MIONM kullanımı ile daha az nörolojik komplikasyon görüldüğü ve deltoid veya biceps'ten alınan MEP uyarılarının C5 palsi için %100 sensitif, %98.4 spesifik olduğu bildirilmiştir (26). Aynı çalışmada SSEP'in ise bu hastalarda postoperatif defisitlerin tayininde kullanışlı olmadığı belirtilmektedir.

Çoğu araştırmacı servikal spinal dejeneratif hastalıkların cerrahisi sırasında İONM'un faydalı olduğunu bildirmiş olsa da; literatürde kompleks olmayan servikal cerrahilerde İONM kullanımına karşı çıkan yayınlar da mevcuttur. Semptomatik servikal omurga rahatsızlıkları nedeniyle dekompresyon ve rekonstrüksiyon yapılan 720 hastanın retrospektif incelendiği bir çalışmada, Traynelis ve ark. İONM olmadan da bu cerrahilerin güvenle yapılabileceğini bildirmiştir (27). Buna ilaveten anterior servikal cerrahide İONM'un, postoperatif yeni nörolojik komplikasyonların gelişimini engellemede bir faydası olmadığını bildiren bir çalışma da mevcuttur (1).

■ İONM ALARMININ YÖNETİMİ

Lee ve ark. tarafından yayınlanan bir çalışmada İONM esnasında amplitüde düşüklük veya sinyal gecikmesinde artış gibi bir alarm durumu ortaya çıktığında yapılması gerekenler bildirilmiştir (19). Buna göre;

- Uyarı öncesindeki son cerrahi hamleyi geri al (örn: boyun ekstansiyonu, distraksiyon vb.)
- Ortalama arteriel basıncı 85-95 mmHg aralığında tut
- Monitörize edilen dalga 20 dk içinde kısmen ya da tamamen geri dönerse cerrahiye devam et
- Sinyalde geri dönüş olmazsa ya da bazal değerlere ulaşmazsa; omurga instabil ise cerrahiye devam et
- Sinyalde geri dönüş olmaz ya da bazal değerlere ulaşmazsa; omurga stabil ise uyandırma testi yaparak cerrahiye devam edilip edilmeyeceğine karar ver.

2012 yılında, yaptıkları literatür taramasıyla Ziewacs ve ark., spinal cerrahi sırasında anlamlı İONM değişiklikleri saptanan hastada algoritmik bir kontrol listesi tanımlamıştır (29). Standart anestezi uygulaması altında (1/3-1/2 MAC halojen anestezi-desfluran ve propofol +/- ketamin ile TIVA (total intravenöz anestezi)), myelopati ya da deformite cerrahisinde MEP alarmı olması durumunda cerrahin, anesteziyoloğun ve nörofizyoloğun kontrol önerilerini içeren bu liste aşağıdaki gibidir:

Cerrah:

- Uyarı anındaki manipülasyonu durdur
- Cerrahi sahayı kord kompresyonu yapabilecek durumlar için değerlendir (vida malpozisyonu, kemik greft konumu, osteofitler, hematoma vb.)
- Darlık veya bası tespit edilirse dekompresyona devam et
- Deformiteye bir düzeltme uygulandıysa geriye almayı düşün

Nörofizyolog:

- Potansiyel yalancı pozitiflik için MEP ve SEP değerlerini tekrar kontrol et
- Elektrotları kontrol et, gereğinde daha proksimal kaslara elektrot yerleştir
- Değişikliklerin örüntüsünü incele (asimetrik değişiklikler sinir kökü hasarını, simetrik değişiklikler hipotansiyon ya

da anestezi etkisini gösterir)

- o Değişiklikler düzelecek olursa cerraha bildir

Anesteziyolog:

- o Nöromusküler blokaj uygulanıp uygulanmadığını kontrol et
- o Verilen ilaçları verifiye et
- o Anestezi derinliğini değerlendir (Kan basıncı, solunum sayısı, kalp ritmi, bispektral indeks (BIS) monitörü)
- o Ortalama arteriyel basınç (OAB) hedefi 90-100
- o Hemoglobün değeri >9-10
- o Vücut ve oda ısısı değerlendir
- o Ekstremitte pozisyonunu kontrol et (pleksus hasarı)
- o Anesteziyi yüzeyselleştir

Değişiklik yoksa;

- o OAB >100
- o Steroid uygulamayı düşün
- o Uyandırma testi yapmayı düşün
- o Cerrahi durdurmayı düşün
- o Kalsiyum kanal blokleri uygulamayı (topikal veya intravenöz) düşün

■ İONM MALİYET ANALİZİ

İONM/MİONM gibi önemli bir gerecin kompleks ve nörolojik hasar riski olan spinal cerrahilerde kullanılması gerektiği fikri günümüzde kabul edilmiş olup, nörolojik hasar riski düşük olan tek seviye basit spinal cerrahi girişimlerde rutin kullanımı hâlâ tartışmalıdır.

Ömür boyu sakatlık veya bakıma muhtaç olma gibi durumlara bir fiyat biçmek ne kadar güç olsa da, toplumsal sağlık hizmetlerinin standardizasyonu için, belirli bir masraf oluşturan İONM/MİONM kullanımının rutin olmasının ekonomik açıdan faydalı olup olmayacağı da incelenmelidir. Bu konuda literatürde ciddi çelişkiler bulunmakla birlikte spinal cerrahide rutin kullanımının ekonomik olarak kârlı veya zararlı olduğunu belirten çok fazla çalışma vardır.

Cole ve ark. tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada; ulusal verilere dayanarak, travma, spinal tümör ve revizyon cerrahileri dahil edilmeden, İONM kullanılarak ya da kullanılmadan tek seviye spinal cerrahi girişim yapılan 85640 hasta incelenmiştir. Bu hastaların %12.66'sında İONM kullanılmış; yazarlar İONM altında yapılan vakalar ile kullanılmadan yapılan vakaları kıyasladıklarında her iki grup arasında nörolojik komplikasyon oranları açısından anlamlı bir fark saptamadıklarını belirtmişlerdir (6).

2015 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde, yatarak tedavi gören hasta ulusal veritabanı taranarak hazırlanan bir yayında, Ney ve ark. kompleks olmayan spinal dekompresyon ve füzyon operasyonlarını incelemiştir. Bu araştırma sonucunda yaklaşık 1.1 milyon hastanın %4.9'unda İONM kullanıldığını

ve bu hasta grubunun daha az nörolojik komplikasyon oranı (%0.8'e %1.4) olduğu; ortalama hastane masraflarını ise %9 kadar artırdığı ortaya konulmuştur (24).

■ SONUÇ

İONM kullanımının servikal spinal dejeneratif hastalıkların cerrahisinde olumsuz nörolojik sonuçları tespit etmede etkin olduğunu gösteren kanıtlar giderek artmaktadır; ancak yüksek kanıt düzeyi olan prospektif çalışmalar henüz yetersiz olduğundan günümüzde kullanımı cerrahin tercihi ve yerel enstitü imkânlarına bağlıdır. Kompleks spinal cerrahi yapılan her merkezde ve cerrahin tecrübesi ile yüksek nörolojik risk öngördüğü kompleks olmayan servikal dekompresyon veya füzyon ameliyatlarında; hastaya özel olarak hangi monitörizasyon modalitelerinin tercih edileceği ve alarm durumunda atılacak adımlar planlanarak, anesteziyolog ve nörofizyolog ile etkin iletişim hâlinde kullanılması mevcut literatür ışığında önerimizdir.

■ KAYNAKLAR

1. Ajiboye RM, D'Oro A, Ashana AO, Buerba RA, Lord EL, Buser Z, Wang JC, Pourtaheri S: Routine use of intraoperative neuromonitoring during ACDFs for the treatment of spondylotic myelopathy and radiculopathy is questionable. *Spine* 42(1):14, 2017
2. Ajiboye RM, Zoller SD, D'Oro A, Burke ZD, Sheppard W, Wang C, Buser Z, Wang JC, Pourtaheri S: The utility of intraoperative neuromonitoring for lumbar pedicle screw placement is questionable: A review of 9957 cases. *Spine* 42(13):1006, 2017
3. Appel S, Korn A, Biron T, Goldstein K, Rand N, Millgram M, Floman Y, Ashkenazi E: Efficacy of head repositioning in restoration of electrophysiological signals during cervical spine procedures. *J Clin Neurophysiol* 34(2):174-178, 2017
4. Calancie B, Harris W, Broton JG, Alexeeva N, Green BA: "Threshold-level" multipulse transcranial electrical stimulation of motor cortex for intraoperative monitoring of spinal motor tracts: description of method and comparison to somatosensory evoked potential monitoring. *J Neurosurg* 88(3):457-470, 1998
5. Clark AJ, Safaee M, Chou D, Weinstein PR, Molinaro AM, Clark 3rd JP, Mummaneni PV: Comparative sensitivity of intraoperative motor evoked potential monitoring in predicting postoperative neurologic deficits: Nondegenerative versus degenerative myelopathy. *Global Spine Journal* 6(5):452-458, 2016
6. Cole T, Veeravagu A, Zhang M, Li A, Ratliff JK: Intraoperative neuromonitoring in single-level spinal procedures: A retrospective propensity score-matched analysis in a national longitudinal database. *Spine* 39(23):1950-1959, 2014
7. Daniel JW, Botelho RV, Milano JB, Dantas FR, Onishi FJ, Neto ER, de Freitas Bertolini E, Duva Borgheresi MA, Joaquim AF: Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: A systematic review and meta-analysis. *Spine* 43(16):1154-1160, 2018
8. Deletis V, Sala F: Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: A review focus on the corticospinal tracts. *Clin Neurophysiol* 119(2):248-264, 2008

9. Djurasovic M, Dimar 2nd JR, Glassman SD, Edmonds HL, Carreon LY: A prospective analysis of intraoperative electromyographic monitoring of posterior cervical screw fixation. *J Spinal Disord Tech* 18(6):515-518, 2005
10. Eggspuehler A, Sutter MA, Grob D, Jeszenszky D, Porchet F, Dvorak J: Multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during cervical spine surgical procedures in 246 patients. *Eur Spine J* 16(2):209-215, 2007
11. Fehlings MG, Brodke DS, Norvell DC, Dettori JR: The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: Does it make a difference? *Spine* 35(9S):S37-S46, 2010
12. Francesco Sala F, Palandri G, Basso E, Lanteri P, Deletis V, Faccioli F, Bricolo A: Motor evoked potential monitoring improves outcome after surgery for intramedullary spinal cord tumors: A historical control study. *Neurosurgery* 58(6):1129-1143, 2006
13. Fujiwara Y, Manabe H, Izumi B, Tanaka H, Kawai K, Tanaka N: The efficacy of intraoperative neurophysiological monitoring using transcranial electrically stimulated muscle-evoked potentials (TcE-MSEPs) for predicting postoperative segmental upper extremity motor paresis after cervical laminoplasty. *Clinical Spine Surgery* 29(4):E188, 2016
14. Holland NR, Lukaczyk TA, Riley 3rd LH, Kostuik JP: Higher electrical stimulus intensities are required to activate chronically compressed nerve roots: Implications for intraoperative electromyographic pedicle screw testing. *Spine* 23(2):224-227, 1998
15. James WS, Rughani AI, Dumont TM: A socioeconomic analysis of intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: National use, regional variation, and patient outcomes. *Neurosurgical Focus* 37(5):E10, 2014
16. Kim DG, Jo SR, Park YS, Hyun SJ, Kim KJ, Jahng TA, Kim HJ, Park KS: Multi-channel motor evoked potential monitoring during anterior cervical discectomy and fusion. *Clin Neurophysiol Pract* 2:48-53, 2017
17. Kobayashi S, Matsuyama Y, Shinomiya K, Kawabata S, Ando M, Kanchiku T, Saito T, Takahashi M, Ito Z, Muramoto A, Fujiwara Y, Kida K, Yamada K, Wada K, Yamamoto N, Satomi K, Tani T: A new alarm point of transcranial electrical stimulation motor evoked potentials for intraoperative spinal cord monitoring: A prospective multicenter study from the Spinal Cord Monitoring Working Group of the Japanese Society for Spine Surgery and Related Research. *J Neurosurg Spine* 20(1):102-107, 2014
18. Lall RR, Lall RR, Hauptman JS, Munoz C, Cybulski GR, Koski T, Ganju A, Fessler RG, Smith ZA: Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: Indications, efficacy, and role of the preoperative checklist. *Neurosurgical Focus* 33(5):E10, 2012
19. Lee JY, Hilibrand AS, Lim MR, Zavatsky J, Zeiller S, Schwartz DM, Vaccaro AR, Anderson DG, Albert TJ: Characterization of neurophysiologic alerts during anterior cervical spine surgery. *Spine* 31(17):1916-1922, 2006
20. Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C, American Society of Neurophysiological Monitoring: Intraoperative potential monitoring-a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol* 124(12):2291-2316, 2013
21. Magit DP, Hilibrand AS, Kirk J, Rehtine G, Albert TJ, Vaccaro AR, Simpson AK, Grauer JN: Questionnaire study of neuro-monitoring availability and usage for spine surgery. *J Spinal Disord Tech* 20(4):282-289, 2007
22. May DM, Jones SJ, Crockard HA: Crockard, Somatosensory evoked potential monitoring in cervical surgery: Identification of pre-and intraoperative risk factors associated with neurological deterioration. *J Neurosurg* 85(4):566-573, 1996
23. Merton PA, Morton HB: Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 285(5762):227-227, 1980
24. Ney JP, van der Goes DN, Nuwer MR: Does intraoperative neurophysiologic monitoring matter in noncomplex spine surgeries? *Neurology* 85(24):2151-2158, 2015
25. Nuwer MR, Emerson RG, Galloway G, Legatt AD, Lopez J, Minahan R, Yamada T, Goodin DS, Armon C, Chaudhry V, Gronseth GS, Harden CL, Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology; American Clinical Neurophysiology Society: Evidence-based guideline update: Intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials: Report of the therapeutics and technology assessment subcommittee of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society. *Neurology* 78(8):585-589, 2012
26. Oya J, Burke JF, Vogel T, Tay B, Chou D, Mummaneni P: The accuracy of multimodality intraoperative neuromonitoring to predict postoperative neurologic deficits following cervical laminoplasty. *World Neurosurg* 106:17-25, 2017
27. Traynelis VC, Abode-Iyamah KO, Leick KM, Bender SM, Greenlee JDW: Cervical decompression and reconstruction without intraoperative neurophysiological monitoring. *J Neurosurg Spine* 16(2):107-113, 2012
28. Uribe JS, Kolla J, Omar H, Dakwar E, Abel N, Mangar D, Camporesi E: Brachial plexus injury following spinal surgery: A review. *J Neurosurg Spine* 13(4):552-558, 2010
29. Ziewacz JE, Berven SH, Mummaneni VP, Tu TH, Akinbo OC, Lyon R, Mummaneni PV: The design, development, and implementation of a checklist for intraoperative neuromonitoring changes. *Neurosurg Focus* 33(5):E11, 2012