



Araştırma

DOI: 10.5137/1019-5157.TND.3686

Geliş Tarihi: 02.06.2025
Kabul Tarihi: 06.01.2026

Periferik Sinir Cerrahisinde İntraoperatif Nöromonitörizasyon Kullanımı ve Bu Yöntemin Cerrahiye ve Prognoza Etkisi

The Use of Intraoperative Neuromonitoring in Peripheral Nerve Surgery and Its Impact on Surgery and Prognosis

Nurullah BÜYÜKGÜL¹, Sait KAYHAN², Adem DOĞAN³, Alparslan KIRIK²¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Yozgat, Türkiye² Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye³ Şehitkamil Devlet Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, Gaziantep, Türkiye

Yazışma adresi: Sait KAYHAN ✉ saikayhanmd@gmail.com

ÖZ




AMAÇ: İntraoperatif elektrofizyolojik testler, kranial ve spinal cerrahilerde giderek artan şekilde kullanılmaktadır. Ancak periferik sinir cerrahisinde bu yöntemlerin kullanımı hâlen yaygın değildir. Bu çalışmanın amacı, merkezimizde gerçekleştirilen periferik sinir lezyonlarına yönelik cerrahilerde uygulanan intraoperatif nöromonitörizasyon yöntemini ayrıntılı şekilde tanımlamak, bu yöntemle ameliyat edilen hastalarda cerrahi sırasında tedaviyi yönlendirmeye olan katkısını değerlendirmek ve aynı zamanda bu yöntemin kullanıldığı ve kullanılmadığı hastalarda sinir iletim kayıtlarındaki değişiklikleri karşılaştırarak, yöntemin hastalık gidişatına olan etkisini araştırmaktır.

GEREÇ ve YÖNTEMLER: Periferik sinir lezyonu nedeniyle ameliyat edilen 110 hastadan, intraoperatif nöromonitörizasyon uygulanan 73 hasta ile bu yöntem uygulanmayan 37 hastanın demografik ve klinik özellikleri ile ameliyat öncesi ve sonrası sinir iletim çalışmaları retrospektif olarak incelenmiş ve istatistiksel açıdan karşılaştırılmıştır. Özellikle intraoperatif nöromonitörizasyon kullanımının bu bulgular üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

BULGULAR: İntraoperatif nöromonitörizasyon kullanımı ile tercih edilen cerrahi teknik arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş, özellikle sinir onarımı uygulanan hastalarda bu yöntemin daha sık kullanıldığı saptanmıştır. Nöroma bulunan olgularda, nöroma çıkarılması ve sinir uçlarının birleştirilmesinde intraoperatif nöromonitörizasyonun cerrahiye önemli katkı sağladığı görülmüştür. Ameliyat öncesinde tam sinir hasarı bulunan hastalarda, bu yöntemin kullanılması sonrası sinir iletim kayıtlarında anlamlı düzeyde iyileşme olduğu gözlenmiştir. Bu yöntem, sinir hasarının derecesini azaltmıştır.

SONUÇ: İntraoperatif nöromonitörizasyon, tam sinir hasarı bulunan olgularda hastalık gidişatını olumlu yönde etkilemektedir. Sinir onarımı planlanan hastalarda bu yöntemin kullanımı önerilmektedir. Klinik ve elektrofizyolojik değerlendirmelerde geri dönüşümsüz hasar düşünülen travmatik sinir yaralanmalarında da intraoperatif nöromonitörizasyonun yararlı bir yöntem olduğu ve iyileşme üzerinde olumlu etkisi bulunduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Periferik sinir lezyonu, İntraoperatif nöromonitörizasyon, Elektromiyografi

Nurullah BÜYÜKGÜL  : 0000-0003-4788-9225
Sait KAYHAN  : 0000-0002-6777-7864Adem DOĞAN
Alparslan KIRIK : 0000-0003-0933-6072
 : 0000-0002-8160-6199

Bu eser "Creative Commons Atıf-GayriTicari-4.0 Uluslararası Lisansı" ile lisanslanmıştır.

ABSTRACT

AIM: Intraoperative electrophysiological evaluation is widely used in cranial and spinal surgical procedures, but its routine use in surgeries for peripheral nerve lesions remains limited. This study aimed to describe the intraoperative neuromonitoring method applied during peripheral nerve surgeries in our institution, to assess its intraoperative contribution to surgical decision-making, and to evaluate its impact on patient prognosis by comparing postoperative nerve conduction findings in patients who underwent surgery with and without intraoperative neuromonitoring.

MATERIAL and METHODS: A total of 110 patients who underwent surgery for peripheral nerve lesions were retrospectively analyzed. Among these, 73 patients were operated using intraoperative neuromonitoring, while 37 patients underwent surgery without the technique. Demographic information, clinical characteristics, and nerve conduction study results before and after surgery were compared between the two groups. Particular attention was given to the effect of intraoperative neuromonitoring on nerve conduction improvement in patients with total nerve damage prior to surgery.

RESULTS: There was a statistically significant relationship between the surgical techniques used and the application of intraoperative neuromonitoring. The method was more commonly applied in cases where nerve repair through suturing was performed. Intraoperative neuromonitoring guided neuroma excision and nerve reconstruction, especially in complex lesions. In patients with total nerve damage, the use of intraoperative neuromonitoring was associated with greater improvement in postoperative nerve conduction.

CONCLUSION: Intraoperative neuromonitoring positively affects surgical outcomes and neurological recovery, particularly in patients with severe nerve damage. Its use is strongly recommended in peripheral nerve surgeries involving nerve repair or where irreversible damage is suspected.

KEYWORDS: Peripheral nerve lesion, Intraoperative neuromonitoring, Electromyography

■ GİRİŞ

Periferik sinir yaralanmaları; etkilenen hasta grubunda duysal ve motor fonksiyonlarda kayba neden olabilen durumlardır. Travma, tümör invazyonları, cerrahi girişimler gibi birçok sebeple periferik sinir hasara uğrayabilir (20). Periferik sinir yaralanmalarında travma en sık neden olmakla birlikte iskemi, enfeksiyon, eksternal kompresyon, iyonize radyasyon, inflamasyon, zor doğum gibi durumlar da yaralanmaya neden olabilir. Çoklu travma hastalarında periferik sinir yaralanması %2,8'lik insidansa sahiptir (12,16). Periferik sinir yaralanmaları genellikle etkilenen uzuvda ciddi duysal ve motor fonksiyon kayıplarına yol açmaktadır. Yaralanma sonrası periferik sinir onarımı ve rejenerasyonu araştırmacılar için günümüzde önemli bir sorun olmaya devam etmektedir.

Periferik sinir yaralanmalarını tedavi etmek için çok sayıda farklı cerrahi prosedür uygulanmaktadır. Her iki sinir ucu arasındaki defektin çok fazla olmadığı sinir lezyonları genellikle uç uca anastomoz ile tedavi edilir. Ancak travmatik yaralanma sonucunda etkilenen periferik sinir lezyonlarında defektin daha uzun olması sıklıkla boşluğu kapatmak için bir greft gerektirir (9).

Periferik sinir yaralanması olan hastalarda elektrofizyolojik çalışmalar klinik muayenenin bir uzantısı olarak kabul edilir. Elektrofizyolojik sonuçlar daima klinik muayene ışığında yorumlanmalıdır. Bu tür hastaların değerlendirilmesinde sıklıkla sinir iletim çalışmaları (SİÇ) ve elektromiyografi (EMG) kullanılır. Elektrodagnostik çalışmaların temel amacı lezyonun lokalizasyonu, yaralanma tipinin ve ciddiyetinin belirlenmesi ve prognozun belirlenmesidir (19).

İntraoperatif elektrofizyolojik çalışmalar, intraoperatif dönemde periferik sinirlerden kayıt yapılmasını içerir ve sinir yaralanmalarının cerrahi tedavisinde yararlı olduğu kanıtlanmıştır (1).

Kullanılan teknik, yüzeysel SİÇ kaydı için kullanılanla aynıdır. Sinir elektriksel olarak uyarılır ve kayıt yine sinirden veya inerve edilen kasta yapılır. Sinirin süreklilik içinde olup olmadığını belirlemek için mekanik stimülasyon da yapılabilir (1). İntraoperatif kayıtlar, yaralanan sinirin tanımlanmasına ve sinirin süreklilik içinde olup olmadığını belirlenmesine yardımcı olur (3). Sinirin seyri boyunca uyarılması, lezyon bölgesinin lokalizasyonuna yardımcı olur. İntraoperatif monitörizasyon aynı zamanda devam eden bir ameliyatın yakınındaki sinirin belirlenmesine de yardımcı olur, böylece sinirin cerrahi olarak hasar görmesi önlenir. İntraoperatif monitörizasyon aynı zamanda bütünlüğü korunmuş lezyon (BKL) ile uğraşırken de faydalıdır.

BKL, sinir hasarını takip eden, destekleyici yapıların korunduğu ancak sinir liflerinin çoğunun hasar gördüğü bir durumdur (13). Her türlü sinir hasarı BKL'a yol açabilir; aksonlar filizlenir ve distal miyelin tüplerine ulaşmayı başaramayabilir ve uzayıp hasar bölgesinde çoğalarak bir nöroma oluşturabilir (21). Bu durum "bütünlüğü korunmuş nöroma" olarak bilinir. Sinir aksiyon potansiyeli (SAP) sinirin eşik üstü yoğunlukta uyarılmasıyla kaydedilir (21). SAP, lezyonun doğrulanmasına ve yalnızca nörolizle tedavi edilebilecek sinirlerin belirlenmesine yardımcı olur, böylece aşırı rezeksiyon ve onarımdan kaçınılır (21).

Bu çalışmanın ana amacı, merkezimizde gerçekleştirilen periferik sinir lezyonu cerrahisinde intraoperatif nöromonitörizasyon (İONM) tekniğini ayrıntılı olarak tanımlamaktır. Bu teknikte opere edilen hastaların operasyon esnasında cerrahi tedaviyi yönlendirme, cerrahi tedaviye olan katkılarını değerlendirmek ve aynı zamanda İONM kullanılan ve kullanılmayan hastaların preoperatif - postoperatif EMG'deki değişimi karşılaştırarak bu tekniğin klinik sonuca katkısının olup olmadığını değerlendirmektedir.

■ GEREÇ ve YÖNTEMLER

Çalışmamız SBÜ Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 22.11.2023 tarihinde 2023/269 karar no ile onaylandı. Çalışma Dünya Tıp Birliği Helsinki Bildirisi ve İyi Klinik Uygulamaları'na uyumlu bir şekilde gerçekleştirildi.

Ocak 2017'den Kasım 2023'e kadar periferik sinir lezyonu nedeniyle ameliyat edilen 110 hastadan İONM kullanılan 73 hasta ile İONM kullanılmayan 37 hastanın verilerinin retrospektif olarak değerlendirildiği retrospektif, tanımlayıcı çalışma tek merkezde yapılmıştır. Hastalara İONM kullanılıp kullanılmayacağı sorumlu cerrah tarafından değerlendirilmiş ve karar verilmiştir.

Tüm hastaların demografik, klinik (ameliyattan önce motor ve duysal değerlendirme açısından özellikle dikkat edilen klinik geçmiş ve fizik muayene) özellikleri, İONM kullanılan ve kullanılmayan hastaların preoperatif-postoperatif EMG tetkikleri toplanmış ve incelenmiştir. Tüm ameliyatlar mikrocerrahi bilgisi ve deneyimi olan cerrahlar tarafından gerçekleştirilmiştir. Hastaların ameliyat öncesi lezyon seviyeleri ve derecesi, nörolojik muayeneleri, İONM tekniğinin kullanılıp kullanılmadığı ve ameliyat sonrası lezyon derecesi değerlendirildi.

Tüm hastalara intraoperatif elektrofizyolojik teknikten sorumlu aynı nörofizyoloji teknisyeni tarafından İONM tekniği gerçekleştirildi ve elde edilen verilen uzman nörolog tarafından onaylandı. Sinirlerdeki hasar derecesi sınıflandırılırken Seddon sınıflandırması kullanıldı. Bu sınıflandırmanın, lezyonun fizyopatolojisini anlamayı, olası bir prognoz belirlemeyi ve uygun bir tedavi davranışı belirlemeyi sağladığı için dünya çapında en yaygın olarak kullanıldığı kabul edilmektedir. Bu sınıflandırma, yerel düzeyde sinir iletiminde bir blokaj olan ve dolayısıyla distal wallerian dejenerasyonu olmadan aksonal etkilenme olmadan iyileşen nöropraksi; aksona özgü bir yaralanma olan, distal wallerian dejenerasyon ile ilişkili olan ve doğru bir şekilde distal lezyon bölgesine kadar kılavuzluk eden endonörium ve perinöriumun sağlam kaldığı aksonotmezis; sinirin tam kesilmesi, işlevin mutlak kaybı ve herhangi bir spontan iyileşmenin olmadığı nörotmezis arasındaki farkı belirtir.

Tüm hastalara gerçekleştirilecek prosedür hakkında yeterince bilgi verildi. Günlük pratikte kabul edilen tanısal testler olması nedeniyle intraoperatif elektrofizyolojik testlerin kullanılması için merkezimizin Etik Kurulu onayına gerek yoktu. Ayrıca, bu çalışmada hastaların kişisel verileri saklanmış olup, gizlilikleri korunmuştur.

Açık travmatik yaralanma sonrası periferik sinir lezyonu gelişen ve ilk müdahaleden 6 ay sonra klinik veya nörolojik iyileşme göstermeyen hastalar ile kapalı travmatik periferik sinir yaralanması olan fizik tedavi ve konservatif tedaviye rağmen klinik veya nörolojik iyileşme göstermeyen hastalar çalışmaya dahil edildi.

Çalışmamızda hiçbir vakada periferik iskemi (kanama kontrol etmek için turnike uygulaması) kullanılmamıştır. Hastalarda genel anestezi kullanılmış, intraoperatif ölçümleri değiştirebilecek nöromüsküler gevşeticilerin kullanımına özellikle dikkat edilmiş ve ameliyathanelerin sıcaklığı her durumda 15°C olmuştur.

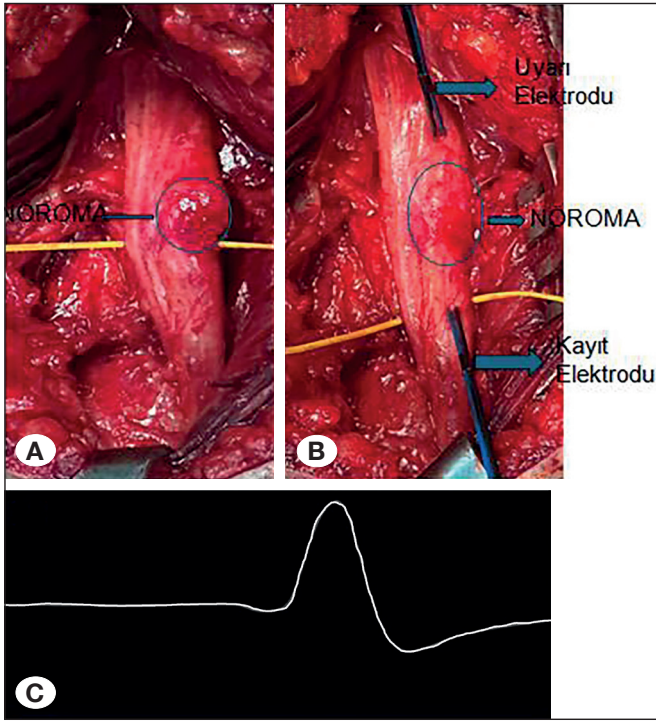
Periferik sinir lezyonu ameliyatı esnasında, sinir devamlılığını anlamak ve sinir fonksiyonlarını takip etmek amacıyla SAP,

sürekli EMG ve uyarılmış EMG kullanıldı. Tüm İONM takipleri, stimülasyonları ve kayıtları Nicolet Endeavor CR IOM (Viasys HealthcareInc, Madison Wisconsin, USA) marka nöromonitörizasyon cihazı ile yapıldı (Şekil 1). Hastaların genel anestezisi sağlandı. Kas gevşetici ajan uygulaması düşük dozda, entübasyon öncesi uygulandı ve idame dozları uygulanmadı.

Hasarlı sinirin tespit edilip izole edilmesinin ardından incelemeye başlandı. Sinir iletim çalışmasının ana amacı sinirin bütünlüğünü, işlevsel devamlılığını değerlendirmek veya periferik bir sinir lezyonunun yerini belirlemek olduğundan, stimülatör ve kayıt elektrotları lezyonun proksimaline ve distaline yerleştirildi. Bu yöntemle akımın daha az dağılmasını sağlayan bipolar uyarım denilmektedir. Bipolar uyarımın yapılamadığı durumlarda katot sinir üzerine ve anot belirli bir mesafedeki inert bir yüzeye yerleştirilerek monopolar uyarım yapılabilir. Cerrah tarafından tutulan bipolar stimülatör lezyon proksimaline olacak şekilde ve kayıt elektrodu lezyon distaline olacak şekilde yerleştirildi ve sinir boyunca SAP bakıldı (Şekil 2). Stimülasyon sırasında sinirin cerrahi alanla temasını önlemek için sinir yukarı kaldırıldı. Bu şekilde sinirin aldığı uyarımın yoğunluğunu azaltan sıvılarla (kan, serum vb.) teması önlenildi. Uyarım süresi 0,05-0,1 ms arasında kare dalgası şeklinde ayarlandı. Normal sinir yapısında sinirin depolarizasyonunu ve supramaksimal bir yanıtı tetiklemek için 1-5 mA'lık uyarım yeterli olmaktadır. Ancak biz çalışmamızda hasarlı sinirler üzerinde çalıştığımız için 5 Hz stimülasyon sıklığında ve 20 mA yoğunluğunda uyarıma kadar çıktık. Stimülasyon ve kayıt elektrotları arasındaki mesafe en az 4 cm'de olarak ayarlandı. Kayıt elektrodu da bipolar olarak seçildi. Toprak elektrodu elektrokoterin toprağından uzakta ve hastanın cildinde bir yüzeye yerleştirildi. İONM kullanılarak onarım yapılan sinirlerde bileşik kas aksiyon potansiyeli (BKAP) kayıtları da alındı. (Şekil 3).



Şekil 1: İntraoperatif nöromonitörizasyon (İONM) cihazı.

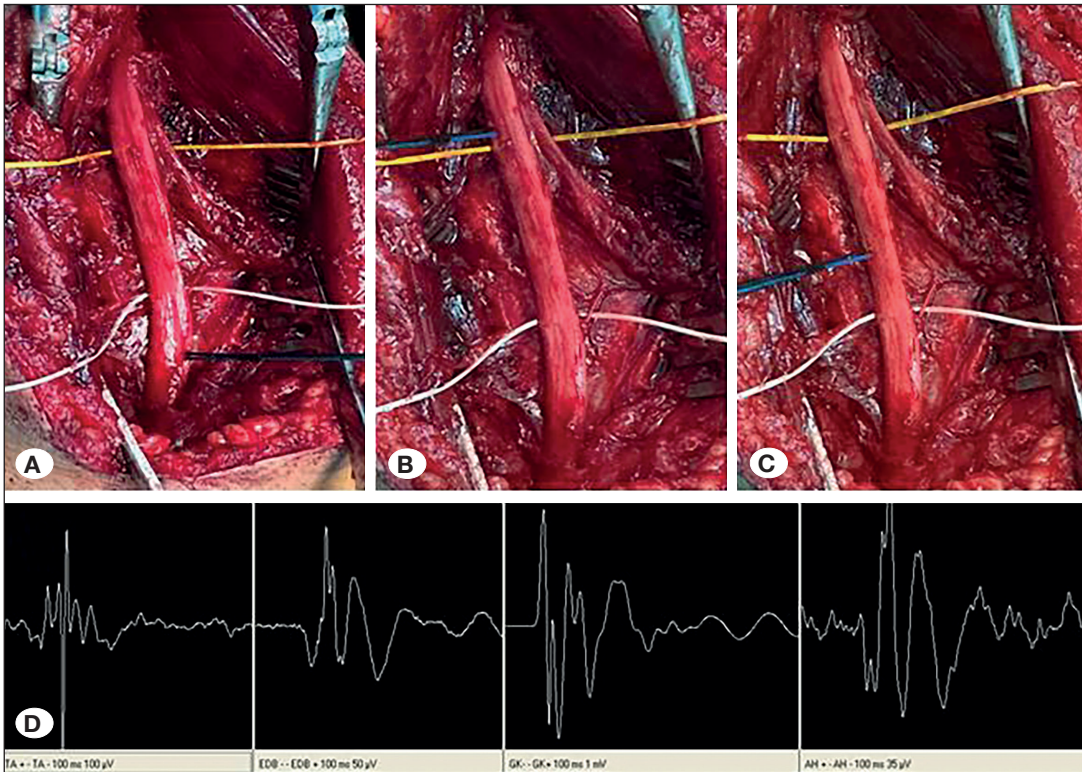


Şekil 2: Siyatik sinir hasarı nedeni ile opere edilen hastada İONM tekniğiyle SAP ölçümünü gösteren şekil. **A)** Siyatik sinirde nöroma oluşumu görülmektedir. **B)** Siyatik sinirde nöroma proksimalinden uyarı elektrodu ve nöroma distalinde kayıt elektrodu görülmektedir. **C)** Nöroma proksimalinde uyarı verilmesi sonucu nöroma distalinde kaydedilen uyarı sinyali.

Verilerin analizi amacıyla IBM SPSS Versiyon 25.0. (Armonk, NY: IBM Corp) istatistik paket programı kullanılmıştır. Hasta verilerine ait sayısal değişkenler ortalama±ortalamanın standart hatası (SH) ve minimum (en düşük)- maksimum (en yüksek değerler) olarak ifade edilmiştir. Kategorize edilen değişkenler ise betimleyici istatistiklerle hasta sayısı (n) ve yüzde (%) olarak açıklanmıştır. Sayısal değişkenlerin dağılım özelliklerinin incelenmesi amacıyla Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri kullanılmıştır. Varyansların homojenliği Levene testi ile değerlendirilmiştir. Parametrik test varsayımlarının sağlanmadığı verilerin analizinde iki bağımsız grubun karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi, ikiden fazla bağımsız grubun karşılaştırılmasında Kruskal-Wallis H test kullanılmıştır.

■ BULGULAR

Toplam 110 hastanın yer aldığı çalışma grubumuza ait sayısal demografik ve klinik veriler Tablo I'de açıklanmıştır. Ortalama yaş 32,95 yıldır. İONM uygulanan olguların yaş ortalaması 32,31 yıl olup, İONM kullanılmayan olguların yaş ortalaması 34,18 yıldır. Her iki grup arasında yaş ortalaması açısından istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur. Hastaların %12,7'si kadın, %87,3'sü erkektir. İntraoperatif nöromonitör kullanımına göre cinsiyet dağılımı Tablo II'te gösterilmiştir. Erkek hastaların %68,75'inde İONM kullanılırken kadın hastaların %50'sinde kullanılmıştır. Bununla birlikte İONM kullanımı ile cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p=0,165$). İntraoperatif nöromonitör kullanımına göre sinir hasarı nedeni dağılımı Tablo III'te gösterilmiştir. İntraoperatif nöromonitör kullanımı ile sinir hasarlanma nedeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p=0,067$). İONM kullanılan hastalarda daha çok Ateşli Silah Yaralanması'na (ASY) bağlı sinir hasarı varken İONM



Şekil 3: Siyatik sinir hasarı nedeni ile opere edilen hastada İONM tekniğiyle BKAP ölçümünü gösteren şekil. **A)** Siyatik sinir hasarlanma bölgesi distalinden direkt uyarım. **B)** Siyatik sinir hasarlanma bölgesi proksimalinde direkt uyarım. **C)** Siyatik sinir hasarlanma bölgesinden direkt uyarım. **D)** Direkt uyarım sonucu kaydedilen sinyal amplitüdüleri tibial ve peroneal sinirden sinyal alınmaktadır.

Tablo I: Hastalara Ait Demografik ve Klinik Veriler

Değişken	Kategori	Hasta sayısı, n (%)
Cinsiyet	Kadın	14 (12,7)
	Erkek	96 (87,3)
	Toplam	110 (100,0)
İntraoperatif Nöromonitör Kullanımı	Var	73 (66,4)
	Yok	37 (33,6)
	Toplam	110 (100,0)
Sinir Hasarı Nedeni	ASY(Silah, EYP)	40 (36,4)
	Penetran (Kesici Delici Alet, Enjeksiyon)	31 (28,1)
	Kompresyon (Geçirilmiş cerrahi, TNP...)	39 (35,5)
	Toplam	110 (100,0)
Bölgesel Geçirilmiş Cerrahi (KVC, Ortopedi...)	Var	42 (38,2)
	Yok	68 (61,8)
	Toplam	110 (100,0)
Sinir Hasarı Derecesi (Seddon Sınıflandırması)	Aksonetmezis	85 (77,3)
	Nörotmezis	18 (16,3)
	Nöropraksi	7 (6,4)
	Toplam	110 (100,0)
Preoperatif EMG'deki Sinir Hasarı	Total Hasar	69 (62,7)
	Ağır Parsiyel Hasar	39 (35,5)
	Hafif Parsiyel Hasar	2 (1,8)
	Toplam	110 (100,0)

kullanılmayan hastalarda kompresyona bağlı sinir hasarı gözlemlenmiştir. İntraoperatif nöromonitör kullanımı ile bölgesel cerrahi öyküsü arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p=0,640$). İntraoperatif nöromonitör kullanımına göre cerrahi öncesi EMG'deki sinir hasarı Tablo IV'te gösterilmiştir. İntraoperatif nöromonitör kullanımı ile cerrahi öncesi EMG'deki sinir hasarı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p=0,885$). İntraoperatif nöromonitör kullanımına göre uygulanan cerrahi teknik Tablo V'te gösterilmiştir. İntraoperatif nöromonitör kullanımı ile uygulanan cerrahi teknik arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır ($p=0,032$). Nörorafi yapılan hastaların %87,5'inde İONM kullanılmıştır. Dolayısıyla nörorafi tekniği uygulanan hastalarda daha fazla intraoperatif nöromonitör kullanımı olduğu görülmüştür. İntraoperatif nöro-

Değişken	Kategori	Hasta sayısı, n (%)
Postoperatif EMG'deki Sinir Hasarı	Total Hasar	47 (42,7)
	Ağır Parsiyel Hasar	36 (32,7)
	Hafif Parsiyel Hasar	26 (23,6)
	Hasar Yok	1 (1,0)
	Toplam	110 (100,0)
Hasarlanan Sinir	Siyatik Sinir	54 (49,1)
	Peroneal Sinir	19 (17,3)
	Tibial Sinir	4 (3,6)
	Brakiyal Pleksus	13 (11,8)
	Radial Sinir	13 (11,8)
	Ulnar Sinir	5 (4,6)
	Median Sinir	2 (1,8)
Toplam	110 (100,0)	
Cerrahi Teknik	Nöroliz	78 (71,0)
	Nörorafi	16 (14,5)
	Nöroma Eksizyonu	16 (14,5)
	Toplam	110 (100,0)
Greft Kullanımı	Var	4 (3,6)
	Yok	106 (96,4)
	Toplam	110 (100,0)

Veriler sayı (%) olarak ifade edilmiştir.

monitörizasyon kullanımına göre EMG'deki cerrahi tedaviye bağlı değişim Tablo VI'da gösterilmiştir. İntraoperatif nöromonitörizasyon kullanımı ile EMG'deki değişim arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır ($p=0,029$). Cerrahi öncesi total sinir lezyonu olan hastalarda İONM kullanımı sinirdeki hasarın derecesini azaltmıştır.

■ TARTIŞMA

Çalışmamıza İONM kullanılan 73 hasta ve İONM kullanılmayan 37 hasta olmak üzere toplam 110 hasta dahil edildi. Temel olarak İONM kullanımına göre preoperatif ve postoperatif EMG bulguları karşılaştırıldı. Ortalama yaş 32,95 yıl olup İONM uygulanan olguların yaş ortalaması 32,31 yıl, İONM

kullanılmayan olguların ise yaş ortalaması 34,18 yıl idi. Aralarında anlamlı bir fark tespit edilmedi. Sinir hasarı nedeni ise hastaların %40'ında ateşli silah yaralanması (ASY), %39'unda kompresyon, %31'inde penetran yaralanmalardır. İONM kullanılarak opere edilen 73 hastanın preoperatif ve postoperatif EMG karşılaştırmasında 40 (%56,3) hastada değişim

saptanmazken 29 (%40,8)'unda iyileşme ve 2 (%2,8)'sinde kötüleşme saptanmıştır. İONM kullanılmadan opere edilen 37 hastanın preoperatif ve postoperatif EMG karşılaştırmasında ise 24 (%64,9) hastada değişim saptanmazken 10 (%27)'unda iyileşme ve 3 (%8,1)'ünde kötüleşme saptanmıştır.

Tablo II: İntraoperatif Nöromonitör Kullanımına Göre Cinsiyet Dağılımı

İntraoperatif Nöromonitör kullanımı	Cinsiyet		p-değeri
	Erkek (n=96)	Kadın (n=14)	
Var (n=73)	66 (90,4)	7 (9,6)	0,165
Yok (n=37)	30 (81,1)	7 (18,9)	

Veriler ortalama \pm SH (minimum - maksimum değer) veya sayı (%) olarak ifade edilmiştir.
Pearson Chi- Square testi, $p<0,05$

Tablo III: İntraoperatif nöromonitör Kullanımına Göre Sinir Hasarı Nedeni Dağılımı

İntraoperatif nöromonitör kullanımı	Sinir Hasar nedeni			p-değeri
	ASY (n=40)	Penetran (n=31)	Kompresyon (n=39)	
Var (n=73)	32 (43,8)	19 (26,0)	22 (30,1)	0,067
Yok (n=37)	8 (21,6)	12(32,4)	17 (45,9)	

Veriler ortalama \pm SH (minimum - maksimum değer) veya sayı (%) olarak ifade edilmiştir.
Pearson Chi- Square testi, $p<0,05$

Tablo IV: İntraoperatif Nöromonitör Kullanımına Göre EMG'deki Patolojik Değerlendirme

İntraoperatif nöromonitör kullanımı	Sinir hasarı derecesi (Seddon)			p-değeri
	Nörotmezis (n=18)	Aksonotmezis (n=85)	Nöropraksi (n=7)	
Var (n=73)	15 (20,5)	52 (71,2)	6 (8,2)	0,104
Yok (n=37)	3 (8,1)	33 (89,2)	1 (2,7)	

Veriler ortalama \pm SH (minimum - maksimum değer) veya sayı (%) olarak ifade edilmiştir.
Pearson Chi- Square testi, $p<0,05$

Tablo V: İntraoperatif Nöromonitör Kullanımına Göre Cerrahi Uygulanan Cerrahi Teknik

İntraoperatif nöromonitör kullanımı	Cerrahi teknik			p-değeri
	Nöroliz (n=78)	Nörorafi (n=16)	Nöroma eksizyonu (n=16)	
Var (n=73)	52 (71,2)	14 (19,2)	7 (9,6)	0,032
Yok (n=37)	26 (70,3)	2 (5,4)	9 (24,3)	

Veriler ortalama \pm SH (minimum - maksimum değer) veya sayı (%) olarak ifade edilmiştir.
Pearson Chi- Square testi, $p<0,05$

Tablo VI: İntraoperatif Nöromonitörizasyon Kullanımına Göre EMG'deki Cerrahi Tedaviye Bağlı Değişim

İntraoperatif nöromonitörizasyon kullanımı	EMG'deki değişim				p-değeri
	Preop total hasarlı		Preop parsiyel hasarlı		
	Değişim yok (n=37)	İyileşmiş (n=33)	Değişim yok (n=17)	İyileşmiş (n=23)	
Yok (n=37)	17 (45,9)	5 (13,5)	8 (21,6)	7 (18,9)	0,029
Var (n=73)	20 (27,4)	28 (38,4)	9 (13,2)	16 (21,9)	

Veriler ortalama \pm SH (minimum - maksimum değer) veya sayı (%) olarak ifade edilmiştir.
Pearson Chi-Square testi, $p < 0,05$

Periferik sinir cerrahisi, iyi bir fonksiyonel iyileşme sağlamak için son derece teknik ve anatomik bilgi gerektiren zorlu bir cerrahi alandır (2,23). Hasar görmüş bir sinirin onarılması kararı verilirken, sinirin durumu kadar cerrahi ekibin ve opere edilecek merkezin deneyimleri de göz önünde bulundurulmalıdır (7). Bu sonuçlara ulaşmak için en önemli faktörlerden biri, cerrahi rekonstrüksiyonun zamanlamasıdır. Sinir fonksiyonunun bazı vakalarda ilerleyen zaman içinde kendiliğinden geri döndüğü göz önüne alındığında, cerrahi müdahâle çok erken olduğunda gereksiz bir ameliyata yol açabilir. Diğer yandan, çok geç müdahâle edilirse, kaslar sinir uyarısını alamadığı için atrofiye uğrar ve yaralanmadan onarılanaya kadar geçen süre arttıkça atrofi de artar ve başarı şansı azalır. Pratikte, ikinci durum (geç başvuran hastalar) daha yaygındır. İki ana grup belirlenmiştir: kapalı ve açık yaralanmalar. İlk grup genellikle başlangıçta beklemeyi ve travmadan 3 aydan sonra cerrahi yapmayı gerektirir. Diğer yandan, açık yaralanmalar mümkünse doğrudan bir sinir onarımı (nörorafi) gerçekleştirmek için hızlıca opere edilmelidir; bu mümkün değilse sinir kenarlarını temizleyip akut dönemde greft ile tamir edilmelidir. Sinir cerrahisi için diğer endikasyonlar arasında; arter yaralanması ile birliktelik gösteren sinir yaralanmaları, brakial pleksus traksiyon yaralanmaları, kapalı bir yaralanmadan sonra nörolojik iyileşmenin olmaması, yaralanmadan sonraki 6 hafta içinde iletim bloğunun düzelmesi ve kalıcı ağrı veya nöroma oluşumunun şüphesi bulunmaktadır (2,7).

Sinir yaralanmalarının ardından uygulanan nörofizyolojik çalışmalar, sinir hasarının şiddetini belirlemek ve klinik belirtiler ortaya çıkmadan önce işlevsel iyileşme göstergelerini tespit etmek için kullanılırlar. Şu ana kadar, periferik sinir yaralanmalarının tedavisinde karar verme süreci, nörofizyolojik çalışmaların ve seri fizik muayenelerin kombinasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Ancak, periferik sinir cerrahisinde İONM'nin kullanımı giderek daha fazla ilgi görmektedir; çünkü bu teknik, etkilenen ana sinir dallarının işlevselliğini ve yaralanan bölgenin distalindeki sinirin aksiyon potansiyelinin varlığını veya yokluğunu gerçek zamanlı ve doğrudan sinir yapılarını uyararak belirlememize olanak tanıyan bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle sinirin tamamen kesilmediği ve nöromanın oluştuğu durumlarda önem arz etmektedir (5,23). Bu teknik ile sağlam bir fasikül ile nöroma kolaylıkla birbirinden ayırt edilebilir. Klinik açıdan, nöromanın boyutu ve sertliği iyileşme için olumsuz bir gösterge olsa da sinir hasarının distalinde güçlü amplitüd sinyalleri daha olumlu bir prognozu işaret eder. Çünkü bu amplitüd sinyalleri hasarlı

bölgeden geçen sağlam fasiküllerin varlığını işaret eder (7,22). Çalışmamızda İONM ile opere ettiğimiz 73 hastanın ameliyatında, sinirin fonksiyonel olup olmadığını, nöroma eksizyonu aşamasında sinir liflerinin devamlılığın olup olmadığını ve nörorafi veya sinir grefti gerekip gerekmediğine karar verilebildiğini gördük. Son olarak, bu çalışmadaki amacımız olmasa da İONM tekniğinin sinir onarımında biyolojik materyallerde deneysel olarak kullanıldığını belirtmek isteriz. Bu yakın gelecekte sinir rejenerasyonunu destekleyen tekniklerin gelişimine katkı sağlayabilir (4,6,11,18).

Literatürde periferik sinir ve brakial pleksus yaralanmaları ile fasiyal sinir cerrahisinde başarılı sonuçlar elde eden çok sayıda çalışmaya rastladık (4,15,19). Bu tekniğe dair makalelerin büyük bir kısmı, özellikle kafa tabanı cerrahisinde, kulak burun boğaz ve beyin cerrahisi alanlarında yoğunlaşmıştır ve genellikle olgu serileri veya olgu sunumları şeklindedir (15). Sekizinci kraniyal sinir olan vestibüler sinir schwannomaları üzerine geniş bir deneyim söz konusudur (15).

Mohler ve Hanel'in makalesinde periferik sinirlerin kapalı yaralanmalarında, önceden yapılan klinik ve nörofizyolojik değerlendirmeler ile sinirin işlevsel sonuçları arasında uyumsuzluk bulunduğu ifade edilmektedir (14). Bu uyumsuzluk, farklı periferik sinirler ve hastalar arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, etkilenen sinir üzerinde koruyucu cerrahi yapılar yapılamayacağını belirlemek için cerrahi sırasında daha kesin araçlara ihtiyaç duyarız. İONM tekniği özellikle sinirin üzerinde nöroma oluştuğu durumlarda bize cerrahi sırasında sinirin devamlılığının olup olmadığı hakkında gerçek zamanlı bilgi vermektedir ve uygulamayı düşündüğümüz cerrahi tedaviye yön vermektedir. Bu teknik bizi gereksiz rezeksiyondan korumaktadır. Ayrıca sinirin devamlılığının olmadığı nöromanın olduğu durumlarda da bize rezeksiyon ve nörorafi cerrahi tekniklerini uygulamaya karar vermede yardımcı olmaktadır.

Çalışmamızdaki tüm hastaların klinik sonuçlarını kısaca değerlendirecek olursak; sinir hasarlanma nedenine göre hasarlanan sinir arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır. ASY ve penetran yaralanmalarda en sık siyatik sinirin hasarlandığını saptadık. Kompresyona bağlı yaralanmalarda ise peroneal sinirin daha sık etkilendiğini saptadık. Sinirin hasarlanma nedeni ile geçirilmiş bölgesel cerrahi öyküsü arasında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır. ASY nedeni ile sinir hasarı oluşan

hastalar daha çok bölgesel cerrahi geçirmiş olup penetran ve kompresyon nedeni ile sinir hasarı oluşan hastalar ise daha az bölgesel cerrahi geçirmişlerdir. Sinirin hasarlanma nedeni ile sinir hasarı derecesi (Seddon sınıflandırmasına göre) arasında da anlamlı farklılık vardır. ASY, Penetran, Kompresyon yaralanmalarında en çok aksonektomezis saptanmıştır. Cerrahi sonrası EMG değişimine göre hasarlanan sinir arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır. Cerrahi sonrası tibial ve ulnar sinirde hasar olan hastalarda EMG bulgularında anlamlı düzelme izlenirken peroneal, radial sinirler ve brakial pleksus hasarında EMG bulgularının değişmediği veya iyileştiği görülmüştür. Siyatik sinir hasarında EMG'nin değişmediği görülmüştür. Cerrahi sonrası EMG değişimi ile sinir hasarı derecesi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Sinir hasarı derecesinde aksonektomezis saptanan hastalarda cerrahi sonrası EMG bulgularında belirgin düzelme saptanmıştır. Sinir hasarı derecesine göre uygulanan cerrahi teknik arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır. Sinir hasarı derecesinde nöropaksi saptanan hiçbir hastada nörorafi uygulanmamıştır. Sinir hasarı derecesinde aksonektomezis saptanan hastalarda en sık nöroliz uygulanmıştır. Preoperatif EMG değeri ile postoperatif EMG değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır. Preoperatif EMG'de total sinir hasarı saptanan 27 hastanın hasarı değişen oranda düzelmiştir. Preoperatif EMG'de ağır parsiyel hasar saptanan 14 hastada iyileşme gözlenirken 5 hastada kötüleşme gözlenmiştir.

Çalışmamızda İONM kullanımının cerrahi tedaviye etkisi ve prognozu değerlendirecek olursak; İONM kullanılan hastalar ile kullanılmayan hastaların yaş ortalaması açısından istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur. İONM kullanımına göre uygulanan cerrahi teknik arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır. Nörorafi tekniği kullanılan hastalarda daha çok İONM tekniği kullanılmıştır. Bu da göstermektedir ki özellikle nöroma olan olgularda nöroma eksizyonu ve sinir anastomozu cerrahi tedavisini uygulamakta bu teknik bize yardımcı olmaktadır. EMG'de preoperatif total sinir hasarı olanlara İONM kullanımının EMG'deki cerrahi tedaviye bağlı değişimi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmıştır. Cerrahi öncesi total sinir lezyonu olan hastalarda İONM kullanımı hasarın derecesini azaltmıştır. Bu da bize İONM kullanımı preoperatif total sinir hasarı olan hasta prognozu olumlu yönde etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Herrera-Perez ve ark. tarafından 30 olguda İONM tekniğini uygulanmış olup 13 periferik sinir tümörünün 11'inde mükemmel sonuç ve 2'sinde iyi sonuç elde edilmiştir. Travmatik yaralanma 17 olguda kaydedilmiş, bunların 6'sında greft uygulanmış ve geri kalan 11 olguda tam motor ve duyu iyileşmesi ile sadece nöroliz uygulanmıştır (8).

Kline ve Happel çeyrek asırlık deneyimlerini paylaşmışlar ve çok sayıda sinir lezyonu üzerinde kayıt yapmışlardır. Çalışmaları yaklaşık 877 üst ve alt ekstremitte sinir lezyonu, 432 brakial pleksus lezyonu, 245 periferik sinir tümörü, 617 tuzaklanma ve 62 kraniyal sinir felci olan hastayı içermektedir. Sonuç olarak 2.000'den fazla hastada intraoperatif kayıt yapmışlardır (10). Bizim serimiz daha az sayıda hasta içermekte olup daha homojen bir çalışmadır.

Oberle ve ark.'nın 76 olguluk periferik sinir lezyonu serilerinde kısmi fonksiyon kaybı olan 43 sinirin 41'inde (%95) lezyon bölgesinde tekrarlanabilir SAP kaydedilmiştir. Tam fonksiyon kaybı olan 33 sinirden sadece 3'ünde tekrarlanabilir SAP kaydedilebilmiş, SAP olmayan kalan sinirlerin 24'ünde sinir kalınlık değişimi gözlenmiş ve devamlılık gösteren sinir içinde nöroma olarak düşünülmüştür. Greftleme prosedürü uygulanmış ve histolojik değerlendirme nörotmetik bir lezyonu ortaya koymuştur. Ancak SAP kaydedilmeyen altı hastada sinirde belirgin bir kalınlık değişimi gözlenmemiştir. Söz konusu çalışmada epinörium açılmış ve internal nöroliz yapılarak devamlılık gösteren fasiküller gözlenmiş olup üç hastada iyi ve üç hastada kısmi (ancak yararlı) iyileşme sağlanmıştır (17). Bizim çalışmamızda ise herhangi bir histolojik değerlendirme yapılmamış, epinörium açılarak devamlılık gösteren fasiküller sayılmamıştır.

Spinner ve Kline 35 yıllık deneyimlerini paylaşmışlar. 3.000 sinir yaralanması, 1.000 tuzaklanma ve tümör olgusu sunmuşlardır. Bu hastaların çoğunda SAP kaydı yapılmıştır (23). Söz konusu çalışmada genel olarak periferik sinir lezyonu tedavisindeki sonuçlara değinilmiş olup aynı zamanda İONM kullanımının cerrahi tedavideki etkinliğinden, öneminden ve cerrahi sonuçlarından bahsedilmiştir. Bizim çalışmamızda ise İONM kullanılan ve kullanılmayan hastaların ameliyat sonrası EMG değişimine bakılmış ve İONM kullanımının prognoza etkinliği değerlendirilmiştir.

Çalışmamızın bazı sınırlılıkları vardır. Bunların başında çalışma gruplarının az sayıda hastadan meydana gelmesidir. 73 hasta sayısı kesin bir sonuç için az olmakla birlikte istatistiksel bir bilgi vermektedir. Ayrıca çalışmamızın retrospektif yapıda olması da diğer bir sınırlılığıdır. Ancak bu tür çalışmaları prospektif olarak yapmak hem çok uzun zaman gerektirmekte hem de standart hasta özellikleri gerektirmektedir. Oysa periferik sinir hasarı her hastada farklı klinik ve elektrofizyolojik özellikler göstermektedir.

Son olarak, İONM tekniklerinin gelişimi ve yaygınlaşmasıyla bu tanısal araçları hastalarımıza sunmanın sadece terapötik açıdan değil aynı zamanda tıbbi-hukuki açıdan da bir gereklilik olduğunu düşünüyoruz. Tedavimizin nihai hedefi olan "daha iyi fonksiyonel sonuçlar" elde etmek için bu araçları kullanmanın önemli olduğu kanaatindeyiz.

■ SONUÇ

Sonuçlarımız, periferik sinir cerrahisinde İONM kullanımının, özellikle geleneksel klinik ve nörofizyolojik değerlendirmelerin geri dönüşümsüz sinir hasarını bildirdiği travmatik yaralanmaların cerrahisinde faydalı bir teknik olduğunu ve prognoza etkisini göstermektedir. Özellikle daha önce travmatik yaralanma (kemik fraktürü, vasküler yaralanma veya cilt defekti gibi) nedeniyle opere edilen olgularda İONM tekniği skar dokusu ile sinir dokusunun ayırt edilmesinde ve sinir fonksiyonlarının anlaşılmasında önemli rol oynar. Ancak, bu tekniğin tüm periferik sinir cerrahisi alanında temel ve vazgeçilmez bir yöntem olduğunu kesinleştirmek için ileriye dönük karşılaştırmalı ve daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bildirimler

Araştırma Desteği: Bu araştırma herhangi bir kuruluş veya birey tarafından, herhangi bir finansal destek veya endüstri bağlantısıyla desteklenmemiştir.

Veri Güvenliği ve Verilerin Sorgulanması: Veri güvenliği ihlali yaşanmamıştır. Mevcut çalışma sırasında oluşturulan ve/veya analiz edilen veri setleri, makul talep üzerine sorumlu yazardan temin edilebilir.

Çıkar Çatışması: Yazarların bu makalede açıklanan ilaçlar, malzemeler veya cihazlarla ilgili kişisel, finansal veya kurumsal bir çıkarı yoktur.

YAZAR KATKILARI

Çalışmanın fikri veya tasarımı: AK, NB, SK

Veri toplama: NB

Veri analizi ve yorumlama: NB, AD

Makale taslağının hazırlanması: AK, NB, SK

Makalenin kritik revizyonu: AK, NB, SK

Diğer (çalışma denetimi, fonlar, materyal, vb...): (-)

Tüm yazarlar (NB, SK, AD, AK) sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son hâlini onaylamıştır.

KAYNAKLAR

1. Aminoff MJ: Electrophysiologic testing for the diagnosis of peripheral nerve injuries. *Anesthesiology* 100:1298-1303, 2004. <http://doi.org/10.1097/00000542-200405000-00034>
2. Birch R: Nerve repair. Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC, Wolfe SW (eds), *Green's Operative Hand Surgery*, Philadelphia: Elsevier Churchill Livingstone; 2005: 1075-1111
3. Brown WF, Veitch J: AAEM minimonograph #42: Intraoperative monitoring of peripheral and cranial nerves. *Muscle Nerve* 17:371-377, 1994. <http://doi.org/10.1002/mus.880170402>
4. Champion ER, Bynum DK, Powers SK: Repair of peripheral nerves with the argon laser. A functional and histological evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 72:715-723, 1990
5. Crum BA, Strommen JA, Stucky SC: Peripheral nerve stimulation and monitoring during operative procedures. *Muscle Nerve* 35:159-170, 2007. <http://doi.org/10.1002/mus.20707>
6. Elfar JC, Jacobson JA, Puzas JE, Rosier RN, Zuscik MJ: Erythropoietin accelerated functional recovery after peripheral nerve injury. *J Bone Joint Surg Am* 90:1644-1653, 2008. <http://doi.org/10.2106/JBJS.G.00557>
7. Griffin JW, Hogan MC V, Chhabra AB, Deal DN: Peripheral nerve repair and reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 95:2144-151, 2013. <http://doi.org/10.2106/JBJS.L.00704>
8. Herrera-Pérez M, Oller-Boix A, Pérez-Lorensu PJ, de Bergua-Domingo J, Gonzalez-Casamayor S, Márquez-Marfil F, Díaz-Flores L, Pais-Brito JL: Intraoperative neurophysiological monitoring in peripheral nerve surgery: Technical description and experience in a centre. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 59:266-274, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.recot.2014.11.004>
9. Kingham PJ, Kalbermatten DF, Mahay D, Armstrong SJ, Wiberg M, Terenghi G: Adipose-derived stem cells differentiate into a Schwann cell phenotype and promote neurite outgrowth in vitro. *Exp Neurol* 207:267-274, 2007. <http://doi.org/10.1016/j.expneurol.2007.06.029>
10. Kline DG, Happel LT: A quarter century's experience with intraoperative nerve action potential recording. *Can J Neurol Sci* 20:3-10, 1993. <http://doi.org/10.1017/s0317167100047338>
11. Luria S, Waitayawinyu T, Conniff J, Morton HJ, Nemecek NM, Sonnen JA, Katolik LI, Trumble TE: Glatiramer acetate immune system augmentation for peripheral nerve regeneration in rat crushed sciatic nerve model. *J Bone Joint Surg* 92:396-403, 2010. <http://doi.org/10.2106/JBJS.I.00109>
12. Mackinnon SE, Dellon AL, Hudson AR, Hunter DA: Nerve regeneration through a pseudosynovial sheath in a primate model. *Plast Reconstr Surg* 75:833-841, 1985. <http://doi.org/10.1097/00006534-198506000-00013>
13. Mavrogenis AF, Pavlakis K, Stamatoukou A, Papagelopoulos PJ, Theoharis S, Zoubos AB, Zhang Z, Soucacos PN: Current treatment concepts for neuromas-in-continuity. *Injury (Suppl 3):43-48*, 2008. <http://doi.org/10.1016/j.injury.2008.05.015>
14. Mohler LR, Hanel DP: Closed fractures complicated by peripheral nerve injury. *J Am Acad Orthop Surg* 14:32-37, 2006. <http://doi.org/10.5435/00124635-200601000-00006>
15. Nelson KR, Phillips LH: Neurophysiologic monitoring during surgery of peripheral and cranial nerves, and in selective dorsal rhizotomy. *Semin Neurol* 10:141-149, 1990. <http://doi.org/10.1055/s-2008-1041263>
16. Noble J, Munro CA, Prasad VSSV, Midha R: Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. *J Trauma* 45:116-122, 1998. <http://doi.org/10.1097/00005373-199807000-00025>
17. Oberle JW, Antoniadis G, Rath SA, Richter HP: Value of nerve action potentials in the surgical management of traumatic nerve lesions. *Neurosurgery* 41:1337-1342, 1997. <http://doi.org/10.1097/00006123-199712000-00018>
18. Park JW, Qi WN, Cai Y, Nunley JA, Urbaniak JR, Chen LE: The effects of exogenous nitric oxide donor on motor functional recovery of reperfused peripheral nerve. *J Hand Surg Am* 30:519-527, 2005. <http://doi.org/10.1016/j.jhsa.2004.11.019>
19. Preston CD, Shapiro BE: Electromyography and Neuromuscular Disorders, ikinci baskı, Elsevier 2005:3-8
20. Robinson LR: Chapter 19 Traumatic injury to peripheral nerves. *Suppl Clin Neurophysiol* 57:173-186, 2004. [http://doi.org/10.1016/s1567-424x\(09\)70355-1](http://doi.org/10.1016/s1567-424x(09)70355-1)
21. Shukla DP, Devi BI: Management of the lesion in continuity: How important is the intraoperative electrophysiology? Treatment of peripheral nerve lesions. *WFNS*:85-92, 2011
22. Slimp JC. Intraoperative monitoring of nerve repairs. *Hand Clin* 16:25-36, 2000.
23. Spinner RJ, Kline DG: Surgery for peripheral nerve and brachial plexus injuries or other nerve lesions. *Muscle Nerve* 23:680-695, 2000. [http://doi.org/10.1002/\(sici\)1097](http://doi.org/10.1002/(sici)1097)