

NÖROMÜSKÜLER MONİTÖRİZASYON

Hasan HEPAGUŞLAR, Uğur KOCA, Zahide ELAR

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı

ÖZET

Kısa etki süreli nondepolarizan nöromusküler bloker ajanların kullanıma girmesi ve genel anestezi uygulamasının sonunda rezidüel kas paralizisinin hâla bir problem olarak devam ediyor olması sinir stimulatorlerinin kullanımını yaygın hale getirmiştir. Nöromusküler fonksiyon monitörizasyonunun derlendiği bu makalede; periferik sinir stimülasyonunun prensipleri ve çeşitleri, nöromusküler fonksiyonun değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler (uyarılmış yanıt) ve nöromusküler blokajın klinik tipleri gözden geçirilmiş, değişik stimülasyon yöntemleri ve uyarılmış yanıt arasındaki ilişki tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Nöromusküler fonksiyon, monitörizasyon, periferik sinir stimülasyonu.

SUMMARY

With the introduction of short-acting non-depolarising neuromuscular blocking agents and the still existing problem of residual neuromuscular paralysis at the end of the anaesthesia management, the use of nerve stimulators has become widespread. In this article, in which studies involving the monitoring of neuromuscular function are gathered together, the principles and patterns of peripheral nerve stimulation, methods of measurement of neuromuscular function (evoked responses) and clinical types of neuromuscular blockade are reviewed and relation between different methods of stimulation and correlation between evoked responses are discussed.

Key words: Neuromuscular function, monitoring, peripheral nerve stimulation

Kas gevşetici ajanların klinik uygulama için önerilen dozlarına hastaların büyük bireysel farklılıklarla yanıt verdiklerine dikkati çeken Christie ve Churchill-Davidson, ilk kez 1958 yılında perianesteziik dönemde nöromusküler fonksiyonun objektif olarak değerlendirilmesinin önemini vurgulamışlar ve bu amaçla periferik sinir stimulatorü kullanılmasını önermişlerdir (1).

Gerçekten, belli bir kas gevşeticinin bir hastada hiçbir etki oluşturmayan dozunun, bir diğer olguda total nöromusküler bloğa yol açabildiği gösterilmiştir (2).

Derlenme odasında özellikle; kusma, öğürme ve parsiyel solunum yolu obstrüksiyonu gibi stres faktörlerinin varlığında bile hastanın yeterli ventilasyon yapabildiğini güvence altına almak için; operasyon salonunu terketmeden önce

nöromusküler fonksiyonun normale döndüğünden emin olunması gerekmektedir (3,4). Bu amaçla, rezidüel blok olasılığı dikkate alınarak operasyon salonunda hastanın gözlerini ve ağızını rahatça açabilmesi; dilini çıkarabilmesi; el sıkabilmesi; tidal volümünün ve inspirasyon gücünün yeterli olması gibi klinik belirtiler yönünden değerlendirilmesi söz konusudur (4,5). Ancak, böyle bir uygulama hastanın bilincinin kooperasyon kurabilmesine olanak verecek düzeyde derlenmiş olmasını gerektirdiğinden, bazen hatalı yorumlara neden olabilmektedir. Operasyon salonunda, postanesteziik nöromusküler fonksiyonu klinik gözlemlerle değerlendirdikten sonra derlenme odasına alınan bir grup hastada gerçekleştirilen bir araştırmada; olguların %25'inin başını 5 sn süreyle yüksekte tutamadığına, %42'sinde ise train-of-four

oranının %70'in altında bulunmasına dikkati çeken Bevan; nondepolarizan kas gevşeticilere bağlı rezidüel bloğun postanestezik mortalite ve morbidite insidansında artışa yol açtığını belirterek, bu sonucun nöromüsküler iletimin monitorize edilmesini zorunlu kıldığını ifade etmiştir (3).

Postoperatif rezidüel nöromüsküler bloğun oluşturduğu problemlerin daha fazla farkına varılması, yeni kısa ve orta etki süreli nondepolarizan nöromüsküler bloker ajanların klinik kullanıma sunulması, nöromüsküler fonksiyonun monitörizasyonuna duyulan ilgiyi arttırmıştır (5-13).

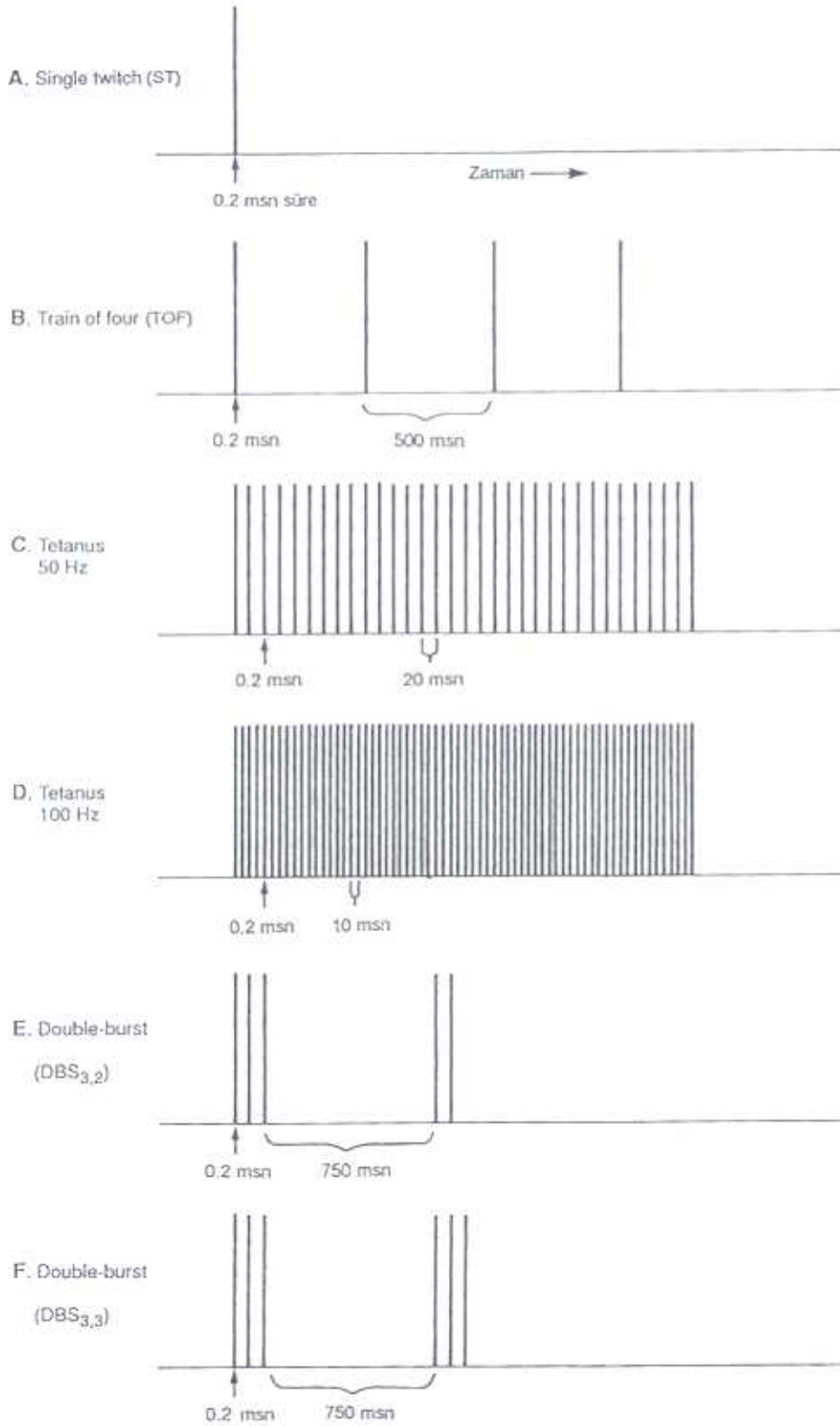
Nöromüsküler fonksiyonun monitörizasyonunda; periferik bir motor sinirin supramaksimal elektriksel stimülasyonu sonucunda oluşan kas yanıtının araştırılması amaçlanır. Tek bir kas lifinin bir stimulusa yanıtı hep veya hiç kuralına göre gerçekleşir. "Ya hep-ya hiç" prensibiyle kasılan kas fibrillerinde, stimulus şiddeti yeterli olduğunda maksimal kontraksiyon olur; stimulus şiddetinin bu noktadan başlayarak artırılması ile supramaksimal stimulus oluşturulur. Kas gevşetici ajan uygulanması sırasında supramaksimal stimulus şiddeti korunduğunda, kontraksiyon düzeyinin azalması nöromüsküler bloğun derecesini yansıtır. Nöromüsküler bloker ajanın uygulanmasının ardından, kasın yanıtında oluşan azalma bloke olan liflerin sayısı ile paralellik gösterir (14).

Nöromüsküler monitörizasyon dönemi boyunca, uyarı; maksimal yanıt için gerekli olan düzeyin en az %20-25 üstünde olmalıdır. 0,5 msn'yi aşan "pulse" süresinin kası direk olarak uyarması ve

ardarda ateşlemeye yol açması nedeniyle, optimal "pulse" süresi 0,2 ile 0,3 msn arasında tutulmalıdır. Bunun yanında, bifazik akım sinirde aksiyon potansiyellerinin patlamasına neden olabileceğinden elektriksel güç ile oluşturulan dalga formu monofazik olmalıdır (5,14) (Şekil 1).

Nöromüsküler fonksiyonun değerlendirilmesinde **single twitch (ST)**, **train-of-four (TOF)**, **tetanik stimülasyon (Te)**, **post-tetanik count (PTC)** ve **double-burst stimülasyon (DBS)** gibi çeşitli stimülasyon örnekleri kullanılmaktadır (4,5,9-11,15-18) (Şekil 2).

Nöromüsküler monitörizasyonda sık kullanılan bir stimülasyon yöntemi olan **ST**'de periferik sinire 0.1 (her 10 sn'de bir)-1.0 (her bir sn'de bir) Hz arasında değişen frekanslarda 0.2 msn süreli tekli supramaksimal stimuluslar uygulanması söz konusudur (Şekil 1). Depolarizan ve nondepolarizan kas gevşeticilerin etkileriyle, tekli uyarılara alınan yanıtların yüksekliği azalır ve bloğun derinliği, yanıtın kontrole kıyasla % depresyonu olarak belirtilir (2,5). Blok ortadan kalkarken yanıtın yüksekliği kontrol değerlerine dönmeye başlar. Nöromüsküler iletimin monitorize edilerek yorumlanması için bir kontrol değerini gerektiren ST uyarı modelinde reseptörlerin %70-80'inden fazlası bloke edilmeden yanıtta azalma gözlenmeyeceği; ancak, reseptörlerin %90'ının blokajı ile yanıtın tamamen kaybolacağı bildirilmiştir (9,11). 1 Hz ST stimülasyon kullanılarak elde edilen sonuçlar, 0,1 Hz ST stimülasyon veya TOF stimülasyonu kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaz (19).



Şekil 1. Periferik sinir stimülatörü ile uygulanan değişik elektriksel impuls tipleri.

	Anestezi indüksiyonu sırasında			Cerrahi girişim sırasında			Derlenme ünitesinde
	Anestezik ajan	Supramaksimal stimülasyon	Endotrakeal intübasyon	Derin blokaaj	Orta derecede blokaaj	Antagonizasyon dönemi	
ST		1.0 Hz	0.1 Hz				
TOF						?	
PTC							
DBS							

Şekil 2. Sinir stimülasyon örneklerinin anestezi uygulaması sırasında kullanımı. Siyah alanlar, belirtilen dönemde sık olarak kullanılan stimülasyon örneklerini, noktalı alanlar ise, daha az sıklıkla kullanılan stimülasyon örneklerini ifade etmektedir.




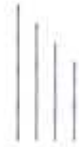

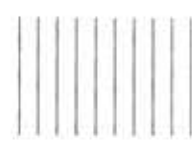
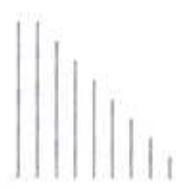
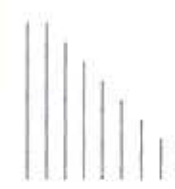
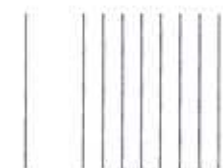
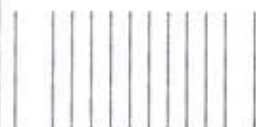

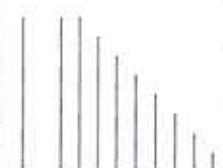
Robert ve Wilson tarafından 1968'de miyastenik hastaların değerlendirilmesinde kullanılan TOF stimülasyonu 1970 yılında Ali ve arkadaşlarınca nöromüsküler monitörizasyon yöntemi olarak klinik uygulamaya sunulmuştur (2,20) (Şekil 1). 0.5 sn (500 ms) (2 Hz) ara ile 4 supramaksimal stimulusun her 10-15 saniyede bir tekrarlanması ile uygulanan bu yöntemde, nondepolarizan blok derinliği arttıkça TOF oranı dördüncü yanıtın başlamak üzere giderek azalır ve total blokta tümüyle kaybolur. Dördüncü yanıtın birinciye oranı yani T_4/T_1 , "TOF ORANI" olarak tanımlanır. Non depolarizan blok sırasında ST ve TOF stimuluslarına alınan yanıtların ilişkisini araştıran çalışmacılar dördüncü yanıt %20-25 azalmadan, birinci yanıtın yüksekliğinde değişiklik olmadığını; blok derinleştikçe %75 blokta dördüncü, %80 blokta üçüncü, %90 blokta ikinci ve %100 blokta birinci yanıtın deprese olduğunu belirtmişlerdir (2,20,21). Kontrol değerinin kendi içinde olması nedeniyle paralizi öncesi kontrol ölçümü

zorunluluğu taşımamak; nöromüsküler blok başlarken ST'den daha önce deprese olmak ve bloğun ortadan kalkmasında da yine ST'den sonra normale dönmek şeklinde bir duyarlılığa sahip olmak gibi avantajlar içerdiği vurgulanmıştır (2,14,22). Kontrol yanıtında (nöromüsküler bloker ajanın verilmesinden önce elde edilen cevap); TOF oranı 1,0'dir. Parsiyel bir nondepolarizan blok sırasında oran azalır (kaybolur). Buna karşılık, parsiyel bir depolarizan blok sırasında ise TOF oranında hiçbir azalma oluşmaz; ideal olarak TOF oranı takriben 1,0'dir. Süksinilkolinin uygulamasının ardından TOF oranında gözlenen azalma bir faz II bloğun gelişmesini ifade eder (5) (Tablo 1). Periferik motor sinire 10-20 ms'de bir 0.2 ms süreli 50-100 Hz frekansta stimulus uygulanması olarak tanımlanan tetanus kasta sürekli bir kontraksiyona neden olur (14,21) (Şekil 1). Nöromüsküler iletim sistemine en çok stres uygulayan yöntemi oluşturan bu stimülasyon modelinde tetanus süresince asetilkolin

salınmasının progressif olarak azalması, depolardan transmitter sentez ve transferinin artışıyla dengelenmeye çalışılır. Bloğun söz konusu olmadığı koşullarda 50 Hz frekanstaki stimülasyonda, salınımı azalmış olsa da ardakalan nörotransmitter miktarı tam bir müsküler yanıt oluşturur. Nöromüsküler bloğun söz konusu olduğu durumlarda ise tetanik yanıtta progressif bir düşüş başlar. Nondepolarizan blok yanıtta "tetanik sönme"ye neden olduğundan, bu stimülasyon yöntemi depolarizan ve nondepolarizan blokların

ayırıcı tanısında kullanılmaktadır (Tablo I). Normal nöromüsküler iletim varlığında ve depolarizan tipte blok sırasında; 5 saniye süreyle 50 Hz'lik tetanik stimülasyona yanıt gözlenmiştir. Bu yanıt, nondepolarizan blok sırasında ve süksinilkolin sonrası faz II bloğunda gözlenemez. Stimülasyonun süresi (saniye), frekansı (Hz) ve uygulanış sıklığı gibi değişkenler sabit tutulmadığı sürece, tetanik stimülasyon uygulanan çalışmalardan elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmaz (2,5,14,23).

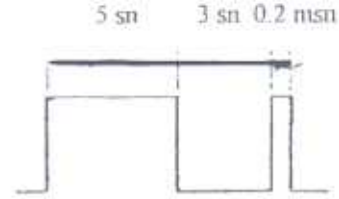
Tablo I. Depolarizan ve Nondepolarizan Blok Sırasında Uyarılmış Yanıtlar

Uyarılmış Yanıtlar	Depolarizan Blok		Nondepolarizan Blok
	Faz I	Faz II	
Train-of-four 	Sabit fakat azalmış 	Sönme 	Sönme 
Tetanus 	Sabit fakat azalmış 	Sönme 	Sönme 
Post tetanic potentiation 	Yok 	Var 	Var 

Tetanik stimülasyon, blok tipinin belirlenmesi yanında rezidüel nöromüsküler blokajın değerlendirilmesinde (23,24) de kullanılmış olmasına karşın; **post-tetanik count (PTC)** tekniğiyle olan bağlantısı dışında günlük klinik anestezi uygulamasında kullanımı kısıtlıdır (5). Parsiyel nondepolarizan blokaj sırasında, tetanik sinir stimülasyonunu, twitch tansiyondaki bir post-tetanik artış izler, bu durum *post-tetanik potentiation (PTP)* olarak adlandırılır (Tablo I). Tetanik stimülasyona bağlı asetilkolinin mobilizasyonu ve sentezindeki artış stimülasyonun bitiminden sonra bir süre daha devam ettiği için ortaya çıkmaktadır. PTP'un derecesi ve süresi nöromüsküler blokajın derecesine bağlıdır (5).

Endotrakeal intübasyon amacıyla nondepolarizan nöromüsküler bloker ajanın uygun dozda enjeksiyonu periferik kaslarda yoğun bir nöromüsküler blokaja neden olur. Bu durumda TOF ve ST stimülasyonuna hiç bir yanıt oluşmadığından, nöromüsküler bloğun derinliğini saptamak için bu stimülasyon modelleri kullanılamaz. Bununla birlikte, periferik kaslardaki nöromüsküler bloğun derinliğinin takibi tetanik stimülasyon uygulamasından sonra ST stimülasyonlarına verilen post-tetanik yanıtları gözlemlemekle olasıdır (Şekil 3). Çok derin nöromüsküler blokaj varlığında post-tetanik ST stimülasyonlarına yanıt yoktur. Derin nöromüsküler blokajın kalktığı dönemde, TOF stimülasyonuna ilk oluşacak yanıtın önce, post-tetanik ST stimülasyonuna yanıt oluşur. Örneğin, endotrakeal intübasyon için pankuronyum (0,1 mg/kg) enjeksiyonundan sonra, TOF stimülasyonuna ilk yanıtın yaklaşık 37 dakika önce *post-tetanik twitch* stimülasyonuna yanıt ortaya çıkar.

Derin blok ortadan kalktıkça *post-tetanik twitch* stimülasyonuna daha fazla sayıda yanıtlar ortaya çıkar (15).



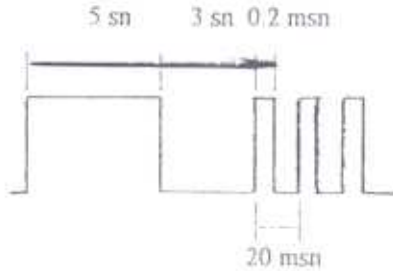
Şekil 3. *Post-tetanik twitch* stimülasyon örneği.

Oftalmik girişimler ve nörocerrahide olduğu gibi endotrakeal intübasyon sırasında veya genel anestezi altında hastalardaki öksürme veya sıçrama gibi hareketlerin elimine edilmek zorunda olduğu durumlarda; periferik kasların nöromüsküler blokajının derin olması gerektiğinden, *post-tetanik twitch* stimülasyonuna hiçbir yanıt oluşmamalıdır (5,10) (Şekil 2).

Yoğun nöromüsküler blokajın değerlendirilmesinde kullanılan yeni bir stimülasyon örneği **post-tetanik burst** stimülasyonudur. PTC'a göre derin nöromüsküler blokajın araştırılmasında daha hassas olduğu bildirilmiştir. Tetanik stimülasyondan sonra 20 msn'de bir 0.2 msn süreli impuls uygulanarak oluşturulan bu stimülasyon örneğine; nöromüsküler blokajdan derlenme sırasında PTC'a kıyasla daha erken dönemde yanıt oluştuğu bildirilmiştir (25) (Şekil 4).

Rezidüel nöromüsküler bloğun saptanmasında TOF stimülasyonlarına alınan yanıtların vizüel olarak değerlendirilmesindeki yetersizlik; daha duyarlı olan **double burst stimülasyon (DBS)**'un geliştirilmesine yol açmıştır. Bir diğer deyişle DBS, rezidüel bloğun küçük derecelerinin bile vizüel olarak saptanması amacıyla geliştirilmiş,

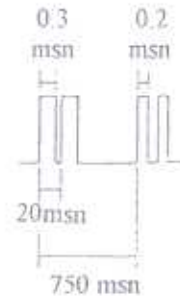
elektiriksel bir sinir stimülasyonu yöntemidir (17). DBS'da birbirinden 750 msn ara ile ayrılmış; patlama şeklinde, 50 Hz'lik iki kısa tetanik stimülasyonun uygulanması söz konusudur. Patlama, herbiri 0.2 msn süren en az iki uyarı içerir. DBS'un en yaygın modeli DBS_{3,3} olarak ifade edilir ve bu, her bir tetanik patlamanın 3 uyarı içerdiğini belirtir (Şekil 1). Nöromusküler bloğun söz konusu olmadığı bir hastada DBS_{3,3}'e alınan yanıt; vizüel olarak izlenebilen, eşit şiddette iki kısa kas kontraksiyonu şeklinde olup; rezidüel bloğun varlığında ikinci yanıt birinciden daha zayıf olarak izlenir (17,18).



Şekil 4. Post-tetanik burst stimülasyon örneği.

Diğer stimülasyon örneklerine göre rezidüel nöromusküler bloğun saptanmasında daha duyarlı olan DBS kullanılarak Fruergaard ve arkadaşları tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada, DBS'a karşı oluşan yanıtların taktik değerlendirilmesi ile; postoperatif rezidüel paralizi olasılığının azaldığı, fakat bu problemin tam olarak ortadan kaldırılamadığı bildirilmiştir (6).

Saitoh ve arkadaşları, 0.3 msn ve 0.2 msn süreli 50 Hz'lik iki "burst" stimulusunu 750 msn aralıklarla uyguladığı **modifiye DBS** ile yaptıkları bir çalışmada, 0.51-0.90 TOF oranlarında modifiye DBS ile DBS_{3,3}'e kıyasla yanıtta azalmanın manuel olarak daha iyi hissedildiğini belirtmişlerdir (7) (Şekil 5).



Şekil 5. Modifiye DBS örneği.

DBS'un etkinliğini rezidüel bloğun değerlendirilmesi yanı sıra, endotrakeal intübasyon yönünden de araştıran Jain ve arkadaşları ise, DBS sonrası her iki yanıtın kaybolduğu dönemdeki intübasyon koşullarının %93 oranında iyi olduğunu, 30 hastadan 26'sında ise endotrakeal intübasyon sırasında hiçbir kas yanıtının oluşmadığını bildirmişler; DBS'un anestezisi uygulamasının bu dönemde de nöromusküler fonksiyonun değerlendirilmesinde yararlı olduğunu ifade etmişlerdir (18).

Klinik uygulama sırasında bahsedilen bu stimülasyon örnekleri kullanılarak saptanan nöromusküler blok tipleri; süksinilkolin ile oluşan **depolarizan blok**; pankuronyum, atrakuryum, vekuronyum gibi ilaçların oluşturduğu **nondepolarizan blok**; depolarizan ilaçların etkilerinin uzaması ile ortaya çıkan **faz II bloktur** (4,5) (Tablo I). Normal dozda süksinilkolin (0,5-1,5 mg/kg) verilen, normal plazma kolinesteraz aktivitesine sahip hastalarda tipik bir **depolarizan nöromusküler blok (faz I blok)** oluşur. TOF veya tetanik stimülasyona yanıt kaybolmaz ve post-tetanik fasiliteasyon oluşmaz. Tersine, aynı dozda süksinilkolin verilen genetik olarak anormal plazma kolinesteraz aktivitesine sahip hastalarda,

post-tetanik fasilitasyon meydana gelir. TOF ve tetanik stimülasyona yanıtta azalma ile karakterli nondepolarizan benzeri bir blok oluşabilir. Bu tipteki blok **faz II blok** olarak adlandırılır (dual, miks veya desensitizasyon bloğu). Faz II blok, genetik olarak normal hastalarda uzun süreli süksinilkolin infüzyonlarından sonra da meydana gelebilir (4,5,14).

Normal hastalardaki faz II blok, anormal kolinesteraz aktivitesine sahip hastalarda oluşan faz II bloktan ayırtedilmelidir. Normal aktiviteye sahip hastalarda süksinilkolinden sonra kolinesteraz inhibitörü verilerek faz II blok antagonize edilebilirken, anormal genotiplere sahip hastalarda asetilkolinesteraz inhibitörünün etkisi öngörülemez (5,14).

Ulnar sinir, sinir stimülasyonunda kullanılan en popüler bölgedir; medyan, posterior tibial, peroneal ve fasiyal sinirler de bu amaçla kullanılabilir. Ulnar sinirin stimülasyonu için, elektrodlar bileğin volar kenarlarına uygulanır. Distal elektrod, bileğin proksimal fleksiyon çizgisinin (pili) 1 cm proksimaline, fleksör carpi ulnaris kasının tendonunun radyaline yerleştirilmelidir. Proksimal elektrod, distal elektrodun 2-3 cm proksimaline yerleştirilmeli (4,5) ve monitörizasyon boyunca periferik cilt ısısının 32°C üstünde tutulması sağlanmalıdır (26). Kas grupları nöromüsküler bloker ajanlara karşı farklı derecelerde yanıt oluşturduklarından, bir kas grubundan elde edilen sonuçlar diğer bir kas grubu için yorumlanamaz. Diyafragma tüm kaslar içinde hem depolarizan hem de nondepolarizan nöromüsküler bloker ajanlara karşı en dirençli olanıdır. Bu farklılıkların kesin nedeni bilinme-

mele beraber; olası nedenler arasında değişik kas gruplarının nöromüsküler bileşkelerindeki farklılıklar, fibrillerin kompozisyonu, innervasyon oranı (nöromüsküler bileşke sayısı), kan akımı ve kas ısı değişkenlikleri sayılabilir (14,27).

Uygun bir sinirin stimülasyonu ile, bu sinirin innerve ettiği kasta oluşan yanıtların değerlendirilmesinin, nöromüsküler iletimin monitörizasyonu için en güvenilir yöntemi oluşturduğu konusunda tüm çalışmacılar fikirbirliği içindedirler. Bu yolla sağlanan yanıtın **mekanomyogram (MMG)**, **elektromiyogram (EMG)** veya **akseleromiyogram (AMG)** ile monitorize edilebileceği bildirilmiştir (9).

Stimülasyon için alt ve üst ekstremitedeki pek çok sinirin seçilebildiği **MMG** yönteminde ulnar sinirin bilek veya dirsekten stimülasyonu ile adduktor pollicis kasında oluşan mekanik yanıtların monitörizasyonu en basit ve güvenilir yol olarak tanımlanmıştır (2,28). Uyarılmış kas yanıtının doğru ölçülebilmesi için kas kontraksiyonlarının izometrik olmasını sağlamak amacıyla baş parmağa 200-300 g'lık bir "önyük"ün uygulandığı bu yöntemin, kasta oluşan mekanik gerilimin bir *force-displacement* (kuvvet-yerdeğiştirme) transduseri aracılığı ile elektriksel sinyallere dönüştürülmesi esasına dayandığı bildirilmiştir (9,29). Ali ve arkadaşları ile Viby-Mogensen MMG'nin hastanın pasif hareketleri ile oluşan artefaklardan etkilenmesi, transduser gerektirmesi, kayıt öncesinde baş parmağa optimal gerginlik verme zorunluluğu taşıması gibi dezavantajlar içerdiğine dikkat çekmişlerdir (2,28).

Periferik sinir stimülasyonu ile oluşan birleşik aksiyon potansiyallerinin kaydedilmesi esasına

dayanan **EMG** için sıklıkla ulnar ve median sinirlerin kullanıldığı belirtilmiş; tenar ve hipotenar kaslara I. dorsal interosseöz kasa veya fleksör hallusis brevis'e ait yanıtların kaydedilmesi önerilmiştir (9,14). **MMG**'nin aksine kas kontraktilesini değiştiren faktörlerden bağımsız olduğu ve araştırmacıyı transdusere dayalı sorunlardan uzaklaştırdığı savunulan **EMG**'nin, ortamdaki diğer elektriksel aktivitelerden etkilenmesi yanı sıra, düzeneğinin çok pahalı ve komplike olması gibi dezavantajlar taşıdığı bildirilmiştir (2,3).

Uyarılmış elektriksel ve mekanik yanıtlar değişik fizyolojik olayları temsil eder. Bu nedenle sözü edilen yöntemlerle elde edilen sonuçlar değişebilir. **MMG** ve **EMG** ile kaydedilen yanıtların çoğunlukla paralel seyrettiğine; ancak, aralarında bazı farklılıklar bulunduğu dikkati çeken çalışmacılar çok derin olmayan depolarizan blok için **EMG**'nin **MMG**'ye kıyasla daha duyarlı; aksine nondepolarizan blok için **MMG**'nin **EMG**'ye kıyasla daha güvenilir bir seçenek oluşturduğunu belirtmişlerdir (2,3). Bu durum, nondepolarizan bloğun derlenme aşamasında, mekanik blok sürmekte iken elektriksel yanıtların kontrol değerine ulaşabileceği şeklinde yorumlanmıştır (2,5).

Newton'un $F = m \times a$ (kuvvet = kütle x ivme) şeklinde özetlenen yasasının esas alındığı **AMG**; kütle sabitse, kuvvetin ivmeye eşit olacağı görüşüne dayandırılmıştır (30,31). Her iki tarafında elektrotların yer altında piezoelektrik seramik bir parçanın kullanıldığı **AMG**'de akselerometrenin baş parmağa tespitinden sonra ulnar sinire stimulus uygulanması; baş parmağın hareketiyle bir kuvvetle karşılaşan elektrodun bu hareketin

ivmesiyle orantılı bir voltaj meydana getirmesi söz konusudur (30,31). **AMG**'nin kullanılmasına ilişkin sorunlara dikkati çeken bazı çalışmacılar **MMG** ile saptanandan daha yüksek "Kontrol TOF oranı" gösterdiğini bildirmişlerdir (31). TOF oranının 0,7'den küçük olması halinde **AMG** ve **MMG** ölçümleri arasında iyi bir korelasyon saptandığı; ancak, 0,7'den büyük TOF oranlarının söz konusu olduğu olduğu koşullarda **AMG** ile ölçülen TOF oranının **MMG** ile belirlenenden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (30). Viby-Mogensen ve arkadaşları tarafından 1993 yılında **AMG**'nin geliştirilmiş bir formunu oluşturan TOF-Guard'ın klinik uygulamaya sunulması sonrasında, bu yeni tekniğin anestezi uygulaması sırasında nöromüsküler fonksiyonun değerlendirilmesi için bir alternatif olabileceği belirtilmiştir (31). TOF-Guard'ın etkinliğini araştıran bir diğer çalışmada ise, bu yöntemle elde edilen "Etkinin Başlama Süresi ve Derlenme Süreleri"nin, **MMG** yöntemi ile elde edilenlerle karşılaştırıldığında korelasyon gösterdiği bildirilmiş; ancak, akselerasyon monitörlerinin daha çok taktik değerlendirmeye katkıda bulunabileceği ifade edilmiştir (32).

Klinik çalışmalarda **MMG** yönteminde kontrol değerleri, supramaksimal uyarının 8-12 dakika boyunca uygulanmasını gerektiren stabilizasyon döneminden sonra elde edilir (5,15). Ancak, Girling ve Mahajan **AMG** yöntemini kullandıkları çalışmalarında 3 ve 20 dakikalık stabilizasyon sürelerinden sonra nondepolarizan ajan uygulanımı ile nöromüsküler blokajın başlama zamanında belirgin farklılığın olmadığını gözlemişlerdir (33). **AMG** ve **EMG** ile elde edilen değerleri karşılaştıran Meretoja ve arkadaşları ise **AMG** ile belirle-

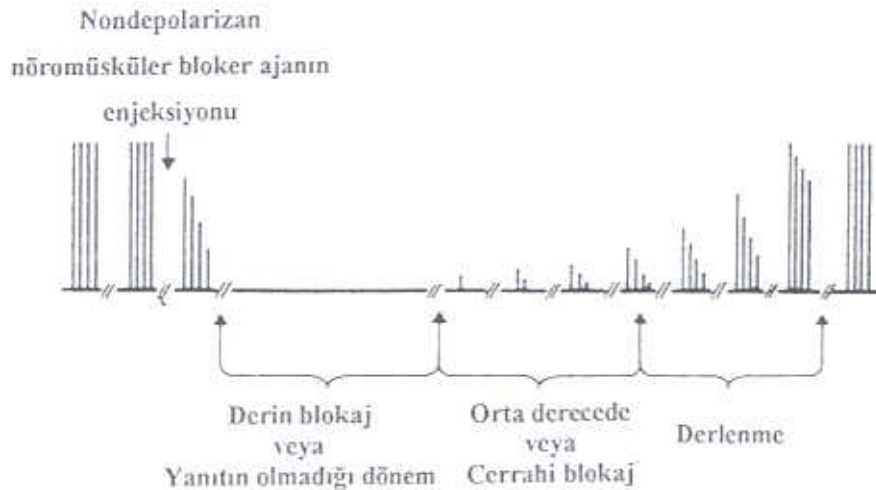
nen twitch yüksekliğinin EMG yöntemi ile sağlanan sonuçlara kıyasla %10 daha fazla depresyon gösterdiğini, ancak TOF oranlarının birbirine yakın değerler oluşturduğunu belirtmişlerdir (34).

İki farklı monitörizasyon yöntemi kullanarak vekuronyum ile oluşturulan nöromusküler bloğun değerlendirilmesini amaçlayan Dahaba ve arkadaşları; TOF-Guard'ın anestezi pratiğinde güvenilir bir klinik monitörizasyon yöntemi oluşturduğunu; ancak TOF-Guard ve relaksograftan (EMG) elde edilen sonuçların birbirlerinin yerine geçemeyeceğini bildirmişlerdir (35). Benzer bir sonuç, AMG ve MMG yöntemini karşılaştırmak amacıyla jinekolojik cerrahi girişim uygulanan 52 kadın hastadan elde ettikleri sonuçları değerlendiren Kirkegaard-Nielsen ve arkadaşlarının çalışmaları da saptanmıştır (36).

Endotrakeal intübasyon amacıyla nondepolarizan nöromusküler bloker ajanın enjekte edilmesinin ardından saptanan TOF kayıtları nöromusküler blokajın **derin blokaj**, **orta derecede veya cerrahi blokaj** ve **derlenme** olmak üzere 3 fazını ortaya

koymaktadır (5).

Sinir stimülatörü anestezi indüksiyonundan önce hastaya bağlanmalı; bilinç yitiminden sonra çalıştırılmaya başlanmalıdır. Supramaksimal stimülasyonun sağlanması için ST (1,0 Hz) stimülasyonu kullanılabilir. Supramaksimal stimülasyon sağlandıktan sonra ve nöromusküler bloker ajan uygulamadan önce, stimülasyonun şekli TOF'a döndürülmeli (veya 0,1 Hz ST stimülasyonuna), bu stimülasyona yanıt gözlemlendikten ve kontrol değerleri elde edildikten sonra nöromusküler bloker ajan uygulanmalıdır. TOF stimülasyonuna yanıt kaybolduğunda endotrakeal intübasyon uygulanmalıdır (5) (Şekil 2). **Derin nöromusküler blokaj**, ilaca ve kullanılan doza bağlı olarak, nondepolarizan nöromusküler bloker ajanın intübasyon dozunun enjeksiyonundan sonraki birkaç dakika içinde oluşur. Bu fazı aynı zamanda "*yanıtsız dönem*" de denir; çünkü ne TOF ne de ST stimülasyonuna hiç bir yanıt yoktur. Bu periyod, kas gevşeticinin klinik etki süresine ve verilen doza bağlı olarak değişiklik gösterir (5) (Şekil 6).



Şekil 6. Nondepolarizan nöromusküler bloker ajanın enjeksiyonundan sonra TOF kayıtlarındaki nöromusküler blokaj dönemleri.

Orta derecede veya cerrahi blokaj TOF stimülasyonuna ilk yanıtın ortaya çıktığı an başlar. Nöromüsküler blokajın derecesi ile TOF stimülasyonuna alınan yanıtların sayısı arasında iyi bir ilişki vardır. Sadece 1 yanıtın gözlemlendiği dönemde, nöromüsküler blokajın derecesi (twitch tansiyonda depresyon) % 90-95'tir. Dördüncü yanıt ortaya çıktığında ise, bu depresyon genellikle % 60-85'tir (17, 37,38) (Şekil 6).

Nöromüsküler blokajın antagonize edilmesine, uygulanan antagonistin dozu ne olursa olsun, nöromüsküler blokaj derinken asla kalkışılmamalıdır. Genel olarak, TOF stimülasyonuna en az iki, tercihan üç yanıt gözlenmeden önce nöromüsküler blokaj antagonize edilmemelidir (39).

TOF stimülasyonuna dördüncü yanıtın geri dönüşü **derleme fazını** belirtir (Şekil 6). 0,70-0,80'lik TOF oranının yeterli nöromüsküler derlenmeyi yansıttığı düşünülmekle birlikte (5,9,31); rezidüel kas paralizisinin varlığı durumunda hipoksemiye solunumsal yanıtın yetersiz olduğunun bildirilmiş olması da önemlidir (40).

Bazı araştırmacılar, supramaksimal stimulusun ağırlı olması nedeniyle postanestezik derlenme ünitesindeki hastaların nöromüsküler fonksiyonlarının monitörizasyonunda submaksimal stimülasyon uygulanmasını önerirler (41). Fakat düşük akım ile oluşturulan monitörizasyonun doğruluğu da tartışmalı olabileceğinden (42) uygun olan her koşulda supramaksimal stimülasyon kullanılmalıdır.

Adductor pollicis kasının kullanılmasıyla elde edilen TOF oranının 0.90'ın altında olduğu durumlarda, faringeal disfonksiyonun ve aspirasyon epizodlarının bilinçli, anestezi uygulanmamış gönüllülerde dahi yaşanabileceğini vurgulayan Eriksson (40) nöromüsküler fonksiyonun değerlendirilmesinde güvenilir monitörizasyon metodlarının rutin olarak kullanılmasının gerekliliğini savunmuştur.

Fuchs-Buder ve Eriksson, nöromüsküler monitörizasyon uygulamasının yararlarına rağmen; özellikle olgular dışında rutin kullanımının günümüz anestezi pratiğinde sınırlı olduğunu belirtmişlerdir (12,40).

Ciddi karaciğer, böbrek hastalıklarında veya geriyatrik olgularda olduğu gibi kas gevşeticilerin farmakokinetik özelliklerinin değişmiş olduğu durumlarda; miyasteniyaya gravis ve miyastenik sendrom gibi nöromüsküler hastalıklarda olduğu gibi farmakodinamik değişikliklerin varlığında; ciddi kalp hastalıklarında veya bronşiyal astımda olduğu gibi nöromüsküler blokajın antagonize edilmesinden kaçınmak istediğimiz durumlarda; ciddi pulmoner hastalıklar ve aşırı obezite gibi postoperatif dönemde kas gücünün yeterli olmasının arzulandığı durumlarda; uzun süreli cerrahi girişimlerde; nöromüsküler blokajın ilacın devamlı infüzyonu ile sağlandığı koşullarda nöromüsküler fonksiyon özellikle monitörize edilmeli (5), tüm hastalarda optimal koşulların sağlanabilmesi için anestezi pratiğinde rutin olarak yer almalıdır.

KAYNAKLAR

1. Christie TH, Churchill-Davidson HC. The St. Thomas's Hospital nerve stimulator in the diagnosis of prolonged apnoe. *Lancet* 1958; 1: 776 (Viby Mogensen J. Neuromuscular monitoring. In: Miller RD, ed *Anesthesia*, 4. Edition. New York Churchill Livingstone Publishing Company, 1994; 1345-1361).
2. Ali HH, Savarese JJ, Crowley MP. Monitoring the neuromuscular function. In: Blitt Casey D, ed. *Monitoring in Anesthesia and Critical Care Medicine*, 2. Edition. New York Churchill Livingstone Publishing Company, 1990;635-650.
3. Bevan DR. Monitoring and antagonism of neuromuscular blockade. 64th Cong Int Anesth Res Soc Honolulu, 9-13 March 1990, Rev Cour Lect, 83-87.
4. Esener Z. Sinir-kas iletimi ve kas gevşeticiler. *Klinik Anestezi*. İstanbul: Logos Yayıncılık Tic. AŞ., 1991; 103-126.
5. Viby-Mogensen J. Neuromuscular monitoring. In: Miller RD, ed. *Anesthesia*, 4th Edition. New York Churchill Livingstone Publishing Company, 1994; 1345-1361.
6. Fruergaard K, Viby-Mogensen J, Berg H, El-Mahdy AM. Tactile evaluation of the response to double burst stimulation decreases, but does not eliminate, the problem of postoperative residual paralysis. *Acta Anaesthesiol Scand* 1998;42; 1168-1174.
7. Saitoh Y, Nakazawa K, Makita K, Tanaka H, Toyooka H: Evaluation of residual neuromuscular blockade using modified double burst stimulation. *Acta Anaesthesiol Scand* 1997; 41; 741-745.
8. Mortensen CR, Berg H, El-Mahdy A, Viby-Mogensen J. Perioperative monitoring of neuromuscular transmission using acceleromyography prevents residual neuromuscular block following pancuronium. *Acta Anaesthesiol Scand* 1995; 39; 797-801.
9. Crofts SL, Hutchison GL: Clinical monitoring of neuromuscular function. *Br J Hosp Med* 1992; 48; 633-640.
10. Viby-Mogensen J: Monitoring neuromuscular function in the intensive care unit. *Intens Care Med* 1993; 19S; 74-79.
11. Brull SJ, Silverman DG. Neuromuscular block monitoring. In: Ehrenwerth J, Eisenkraft JB, eds. *Anesthesia Equipment: Principles and Applications*. St. Louis Mosby-Year Book, Inc., 1993; 297-318.
12. Fuchs-Buder T. Neuromuscular monitoring. Standard procedures. *Anaesthesist* 1998; 47(8); 629-637.
13. Erhan ÖL. Kas gevşetici etkinin monitörizasyonu. VII. Kış Sempozyumu (Uludağ, Bursa) Özet Kitabı. 1998; 38-51.
14. Ali HH, Savarese JJ. Monitoring of neuromuscular function. *Anesthesiology* 1976; 45; 216-249.
15. Viby-Mogensen J, Howardy-Hansen P, Chrammer-Jorgensen B, Ording H, Engbaek J, Nielsen A. Posttetanic count (PTC): A new method of evaluating an intense nondepolarising neuromuscular blockade. *Anesthesiology* 1981; 55; 458-461.
16. Gwinnutt CL, Meakin G. Use of the post-tetanic count to monitor recovery from intense neuromuscular blockade in children. *Br J Anaesth* 1988; 61; 547-550.

17. Engbaek J, Ostergaard D, Viby-Mogensen J. Double burst stimulation (DBS): A new pattern of nerve stimulation to identify residual neuromuscular block. *Br J Anaesth* 1989; 62: 274-278.
18. Jain AK, Sharma PK, Bhattacharya A. Double burst stimulation for monitoring neuromuscular blockade for tracheal intubation. *Anaesthesia* 1995; 50: 23-25.
19. Curran MJ, Donati F, Bevan DR. Onset and recovery of atracurium and suxamethonium-induced neuromuscular blockade with simultaneous train-of-four and single twitch stimulation. *Br J Anaesth* 1987; 59: 989-994.
20. Ali HH, Utting JE, Gray C. Stimulus frequency in the detection of neuromuscular blocks in humans. *Br J Anaesth* 1970; 42: 967-978.
21. Morgan GE, Mikhail MS. Patient monitors. *Clinical Anesthesiology*. Appleton & Lange, 1992; 67-98.
22. Lee C-M. Train of four quantitation of competitive neuromuscular block. *Anesth Analg* 1975; 54: 649-653.
23. Baurain MJ, Hoton F, Dermovoi BS, d'Hollander AA. Influence and relative sensitivities of 50-Hz and 100-Hz tetanic stimuli on subsequent tetanic fade ratios in patients receiving vecuronium. *Anesth Analg* 1996; 82: 139-142.
24. Brull SJ, Connelly NR, O'Connor TZ, Silverman DG. Effect of tetanus on subsequent neuromuscular monitoring in patients receiving vecuronium. *Anesthesiology* 1991; 74: 64-70.
25. Saitoh Y, Toyooka H, Amaha K. Post-tetanic burst: a new monitoring method for intense neuromuscular block. *Br J Anaesth* 1995; 74: 293-295.
26. Eriksson LI, Lennmarken C, Jensen E, Viby-Mogensen J. Twitch tension and train-of-four ratio during prolonged neuromuscular monitoring at different peripheral temperatures. *Acta Anaesthesiol Scand* 1991; 35: 247-252.
27. Bragg P, Fisher DM, Shi S et al. Comparison of twitch depression of the adductor pollicis and the respiratory muscles. *Anesthesiology* 1994; 80: 310-319.
28. Viby-Mogensen J, Engbaek J, Kann T, Fries B. New developments in clinical monitoring of neuromuscular transmission: measuring the mechanical response. *Clinical Exp Neurophysiol, Exp Med, Series* 1983; 11: 56-59.
29. Viby-Mogensen J. Clinical assessment of neuromuscular transmission. *Br J Anaesth* 1982; 54: 209-223.
30. Viby-Mogensen J, Jensen E, Werner M, Nielsen HK. Measurement of acceleration: a new method of monitoring neuromuscular function. *Acta Anaesthesiol Scand* 1988; 32: 45-58.
31. Ueda N, Masuda Y, Muteki T, Tsuda H, Hiraki T, Harada H, Tobata H. A new neuromuscular transmission monitor (TOF-GUARD): the rationale behind the method and its clinical usefulness. *Masui (Jpn J Anesthesiol)* 1994;43: 134-139.
32. Loan PB, Paxton LD, Mirakhur RK, Connolly FM, McCoy EP. The TOF-Guard neuromuscular transmission monitor. *Anaesthesia* 1995;50:699-702.
33. Girling KJ, Mahajan RP. The effect of stabilization on the onset of neuromuscular block when assessed using accelerometry. *Anesth Analg* 1996; 82: 1257-1260.
34. Meretoja OA, Werner MU, Wirtavuori K, Luosto

- T. Comparison of thumb acceleration and thenar EMG in a pharmacodynamic study of alcuronium. *Acta Anaesthesiol Scand* 1989; 33: 545-548.
35. Dahaba AA, Rehak PH, List WF. Assessment of accelerography with the TOF-Guard: a comparison with electromyography. *Eur J Anaesthesiol* 1997; 14: 623-629.
36. Kirkegaard-Nielsen H, Helbo-Hansen HS, Lindholm P, Pedersen HS, Severinsen IK, Schmidt MB. New equipment for neuromuscular transmission monitoring: a comparison of the TOF-Guard with the Myograph 2000. *J Clin Monit Comput* 1998; 14(1): 19-27.
37. Gibson FM, Mirakhur RK, Clarke RSJ, Brady MM. Quantification of train-of-four responses during recovery of block from non-depolarising muscle relaxants. *Acta Anaesthesiol Scand* 1987; 31: 655-657.
38. O'Hara DA, Fragen RJ, Shanks CA. Comparison of visual and measured train-of-four recovery after vecuronium-induced neuromuscular blockade using two anaesthetic techniques. *Br J Anaesth* 1986; 58: 1300-1302.
39. Goldhill DR, Embree PB, Ali HH, Savarese JJ. Reversal of pancuronium. Neuromuscular and cardiovascular effects of a mixture of neostigmine and glycopyrronium. *Anaesthesia* 1988; 43: 443-446.
40. Ericsson L. Should a neuromuscular block be reversed? *Acta Anaesthesiol Scand* 1997; 110: 101.
41. Brull SJ, Ehrenwerth J, Connelly NR, Silverman DG. Assessment of residual curarization using low-current stimulation. *Can J Anaesth* 1991; 38: 164-168.
42. Helbo-Hansen HS, Bang U, Nielsen HK, Skovgaard LT. The accuracy of train-of-four monitoring at varying stimulating currents. *Anesthesiology* 1992; 76: 199-203.