

Motonöron Aktivitesini Etkileyen Faktörler

FACTORS AFFECTING MOTONEURONE ACTIVITY

Dr.Abit Yalçın RIDVANAGAOĞLU

Hacettepe Üniv. Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı ANKARA

Geliş Tarihi: 4 Ekim 1988

Kabul Tarihi: 9 Eylül 1989

ÖZET

Bu çalışmada, uyarın frekansı, uyarın şiddeti, inhibisyon çeşitleri ve tetanizasyon gibi çeşitli faktörlerin motonöron tipleri üzerine olan etkileriyle ilgili literatör incelemesi yaparak sonuçların ur arada toplamak amaçlandı. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlendi:

Küçük-tonik motonöronların eksitabilitesi uyarın şiddeti ile ters orantılı, ortabüyük-tonikler optimal uyarın şiddetinde yapılan değişiklikten önemli derecede etkilenmiyor, büyük-fazik motonöronların eksitabilitesi ise uyarın şiddeti ile doğru orantılı olarak değişiyor. Uyarın frekansının artırılması küçük-tonik ve ortabüyük-tonik motonöronların deşarj frekansında önemli bir değişikliğe neden olmazken, büyük-faziklerde deşarj frekansının önemli derecede azalmasına neden oluyor. Ekstensör motonöronlardan küçük tonikler autogenetik inhibisyondan etkilenmiyor, ortabüyük-tonik ve büyük-fazikler ise hücre büyüklüğü ile paralel giden bir etkilenme gösteriyor. Fleksör motonöronlardan küçük-tonikler autogenetik inhibisyondan 0 mm kas uzunluğunda etkileniyor, kas uzunluğu artırıldığı zaman bu inhibisyon kayboluyor. Ortabüyük-tonikler kas asılı değilken yani izotonik kontraksiyonda en fazla etkileniyor, kas uzatılınca bu etki azalıyor. Büyük-fazikler ise kuvvetli şekilde etkileniyor. Küçük-tonik motonöronların deşarj frekanslarının sınırlandırılmasında rekurrent inhibisyon büyük ölçüde rol oynarken, presinaptik inhibisyonun rolünün burada çok az olduğu, ortabüyük-tonik ve büyük-faziklerin deşarj frekanslarının sınırlandırılmasında ise autogenetik ve presinaptik inhibisyonun rol oynadığı görülüyor. Post-tetanik periyotta büyükfazik motonöron potansiyasyon, küçük-tonik motonöron ise depresyon gösteriyor.

Anahtar Kelimeler: Motonöron, nöronal inhibisyon, tetanizasyon, uyarın şiddeti, uyarın frekansı.

T Ki Tıp Bil Araş Dergisi (:8. S:3,1990,233-239

SUMMARY

In this study, the effects of factors such as stimulus frequency, stimulus strength, inhibition types and tetanization, on different types of motoneurons is reviewed.

The excitability of small-tonic motoneurons decreases as the stimulus strength increases. Medium large-tonic motoneurons are not affected by the changes in stimulus strength within the optimal stimulus limits, but in target phasic motoneurons the excitability is directly proportional to the stimulus strength. While the increase in stimulus frequency does not affect the discharge frequency of small-tonic and medium large-tonic motoneurons, the discharge frequency of large-phasic motoneurons decreases significantly as the stimulus frequency increases. Small-tonics among the extensor motoneurons are not affected by autogenetic inhibition at 0 mm muscle size, as the muscle length is increased this inhibition can not be seen. Medium largephasics are strongly affected when the muscle is not suspended that is when the muscle is in isotonic contraction. When the muscle is stretched this effect decreases. Large-phasics are affected strongly. Recurrent inhibition is the most important mechanism in limiting the discharge frequency of small-tonic motoneurons while presynaptic inhibition is not important. In medium large-tonics and large-phasics, autogenetic inhibition and presynaptic inhibition are the mechanisms of limiting discharge frequency. The largephasic motoneuron is potentiated in the post-tetanic period, while the small-tonic is depressed.

KeyWords: Motoneuron, neuronal inhibition, tetanization, stimulus strength stimulus frequency.

T J Research Med Sci. V:8, S:3,1990,233-239

Özellikle son yıllarda, motonöronların tipleri ve bunların aktivitesini etkileyen faktörlerle ilgili bir çok çalışma yapıldı.

Bu çalışmada, literatürdeki bu konularla ilgili çalışmalar incelenerek sonuçlarını bir araya getirmek amaçlandı.

Ranvier (1874) iskelet kaslarını kırmızı ve beyaz olmak üzere iki grupta topladı (20). Denny-Brown (1929) kırmızı kasların uzun süre devamlı kasılabilen yani tonik; beyaz kasların ise ancak kısa süre devam edebilen fazik kontraksiyonlar yaptıklarını gösterdi. Fleksör kaslar Ranvier'in beyaz kas grubuna girdiğinden fazik; ekstensör kaslar da kırmızı kas grubuna girdiğinden tonik olarak nitelendirildiler (3).

Bu kasların motonöronları da tonik ve fazik olarak belirlendiler. Kırmızı kasları tonik, beyaz kasları fazik motonöronların innerve ettiği kabul edildi.

Cajal (1909)'ın belirttiği gibi bir sinir lifinin çapı ait olduğu hücrenin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak değişir. Daha sonra Gasser tarafından ön kök liflerinden kaydedilen impuls büyüklüğü ile lif kalınlığı arasında da pozitif bir korelasyon olduğu saptandı (6). Bu bilgiler ışığında alfa motonöronlar, önkök liflerinden kaydedilen impuls amplitütlerine göre, büyük amplitütlü "Büyük motonöronlar"; küçük amplitütler "Küçük motonöronlar" olarak iki grupta toplandı. Granit ve ark. (1956) tarafından büyük motonöronlar fazik, küçük motonöronlar tonik motonöronlar olarak belirlendi (11).

Fazik motonöronlar kontraksiyon hızı yüksek olan soluk iskelet kaslarını, tonik motonöronlar ise kasılma hızı yavaş olan kırmızı iskelet kaslarını innerve ederler.

Ranvier (1874)'den beri beyaz kas olarak bilinen fleksör kasların daha sonra yapılan araştırmalarla beyaz, kırmızı ve ara tip olmak üzere üç çeşit kas lifinden meydana geldiği gösterildi (4,7,8,27). Fleksör kasların üç tip kas lifinden yapılmış olması, onların motonöronlarının da sadece fazik motonöronlar değil, kas lifi tipine uygun motonöron tipleri olabileceği düşüncesini doğurdu.

Bu düşünceden giderek ekstensör motonöronlar, küçük-tonik, ortabüyük-tonik ve büyük-fazik

olarak üç grupta; fleksör motonöronlar, küçük-tonik, ortabüyük-tonik, küçük-fazik, ortabüyük-fazik ve büyük-fazik olarak beş grupta toplandı (25,26,27). Daha sonra kedinin fleksör carpi radialis kasında yapılan çalışmada yavaş, yorulmaya dayanıklı, hızlı, yorulmaya dayanıklı ve hızlı, yorulmaya duyar olmak üzere üç çeşit motor-birimin varlığından söz edilmektedir (30). Yine insan el kaslarının istemli izometrik kontraksiyonlar sırasındaki motor deşarjları incelenmiş ve bu çalışmada da üç çeşit motor birim bulunmuştur (32). Romanul 8 tip kas lifi ayırt etmiştir (31). O halde 5 tip fleksör motonöron tipi bulunması, klasik olarak bilinen üç tip kas lifinden daha farklı özellikler gösteren kas liflerinin de varlığı fikrini desteklemektedir. Kanımızca araştırmalara devam edilirse bilinen motonöron tiplerinden farklı başka motonöronların da bulunduğu gösterilebilir.

Bu motonöron tiplerinin aktivitesini etkileyen faktörlerle ilgili çalışmalar, literatür gözden geçirilerek incelendi. Aşağıda, bu çalışmaların bulgularından örnekler verilerek her faktörün motonöron tipleri üzerine olan etkisi gösterilmeye çalışıldı, varılan sonuçlar özetlendi.

Uyaran Şiddetinin Etkisi

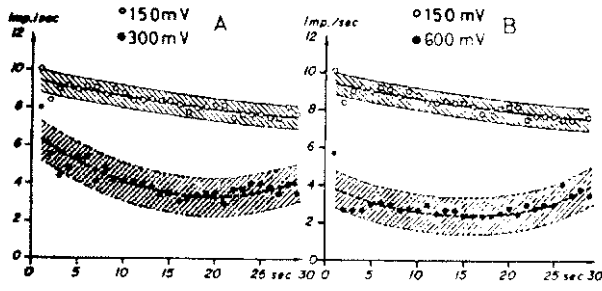
Küçük tonik motonöron: Şekil 1'de görülen bu motonöronun optimal frekansı 100 Hz, eşik uyaran şiddeti 150 mV. da ortalama deşarj frekansı 8-10 imp/sn, 300 mV. da 3-6 imp/sn, 600 mV. da 2-4 imp/sn. dir.

Uyaran şiddetinin artması deşarj frekansının azalmasına neden oluyor (15,16,25,26).

Ortabüyük-tonik motonöron: Şekil 2'de uyaran frekansı 100 Hz, eşik uyaran şiddeti 300 mV. da minimal deşarj frekansı 7 imp/sn, maksimal deşarj frekansı 25 imp/sn, 600 mV-100 Hz. de ortalama deşarj frekansında önemli bir değişiklik yok. 1200 mV-100 Hz. de uyarma periyodunun ilk 5 sn'sinde impuls frekansında az bir düşüş görülüyor.

Uyaran şiddetindeki artış deşarj frekansında önemli bir değişikliğe neden olmuyor (15,16,25,26).

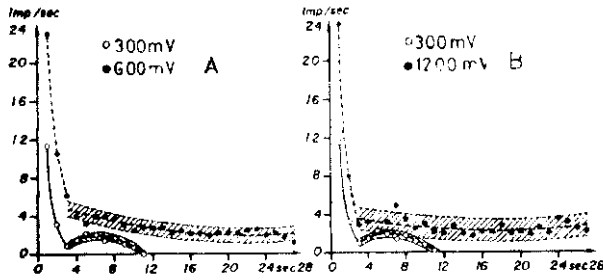
Fazik motonöron: Şekil 3'de eşik uyaran şiddeti 300 mV, uyaran frekansı 100 Hz. te ilk 10 sn'de deşarj sonra inhibisyon görülüyor. 600 mV da deşarj frekansı önemli derecede artıyor. 1200 mV'da önemli bir değişiklik görülüyor.



Şekil 1. (A,B) Uyarın şiddetinin küçük-tonik motonörona etkisi (25).

Uyarın şiddeti: 150 mV, 300 mV (A), 150 mV, 600 mV (B).

Uyarın frekansı: 100 Hz CA,B).



Şekil 3. (A,B) Uyarın şiddetinin fazık motonörona etkisi (25).

Uyarın şiddeti: 300 mV, 600 mV (A), 300 mV, 1200 mV (B).

Uyarın frekansı: 100 Hz (A,B).

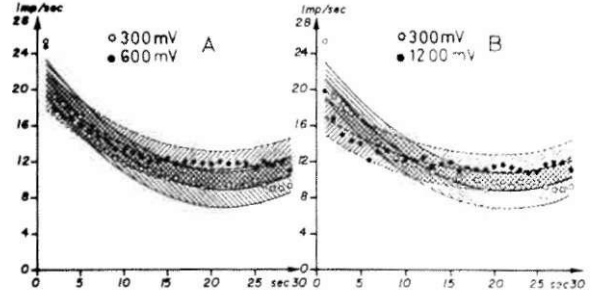
Uyarın şiddetinde artma deşarj frekansının artmasına neden oluyor (15,16,25,26).

Uyarın Frekansının Etkisi

Küçük-tonik motonöron: Şekil 4'te görüldüğü gibi A'da, 150 mV-100 Hz'de 7-10 imp/sn, 150 mV-200 Hz'de motonöron deşarj frekansı başlangıçta arttığı halde uyarın periyodunun sonuna doğru azalıyor.

B'de, 300 mV-100 Hz'de 6 imp/sn ile başlıyor, uyarın periyodunun sonuna doğru 1.5 imp/sn. ye kadar düşüyor. 300 mV-200 Hz'de ilk 5 saniyede deşarj frekansı azalıyor, sonra tekrar yükselerek 8 imp/sn'ye ulaşıyor.

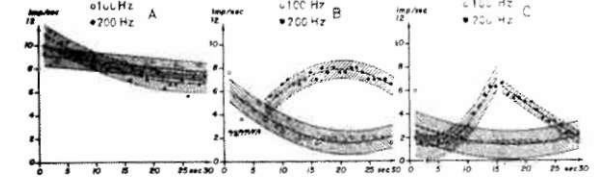
C'de, 600 mV-100 Hz'de ortalama deşarj frekansı 1.5 imp/sn'ye kadar düştüğü halde, 600 mV-200 Hz'de başlangıçtaki inhibisyon 5. saniyeden sonra kayboluyor ve ekstasyon görülüyor, 15. saniyeden sonra inhibisyon tekrar başlıyor.



Şekil 2. (A,B) Uyarın şiddetinin büyük-tonik motonörona etkisi (25).

Uyarın şiddeti: 300 mV, 600 mV (A), 300 mV, 1200 mV (B).

Uyarın frekansı: 100 Hz (A,B).



Şekil 4. (A,C) Uyarın şiddetinin küçük-tonik motonörona etkisi (25).

Uyarın şiddeti: 150 mV (A), 300 mV (B), 600 mV (C).

Uyarın frekansı: 100 Hz, 200 Hz (A,B,C).

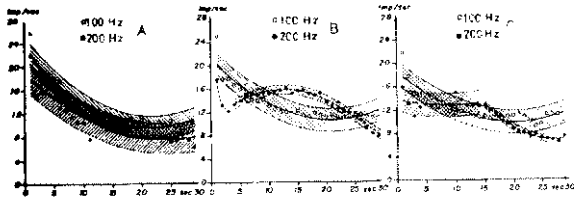
Uyarın frekansının arttırılması deşarj frekansında önemli bir değişikliğe neden olmuyor (15,16,21,25,26,27).

Ortabüyük-tonik motonöron: Şekil 5'de görüldüğü gibi A'da, 300 mV-100 Hz'den 300 mV-200 Hz'e çıkarıldığında bir kaç impulsluk bir frekans azalışı görülüyor.

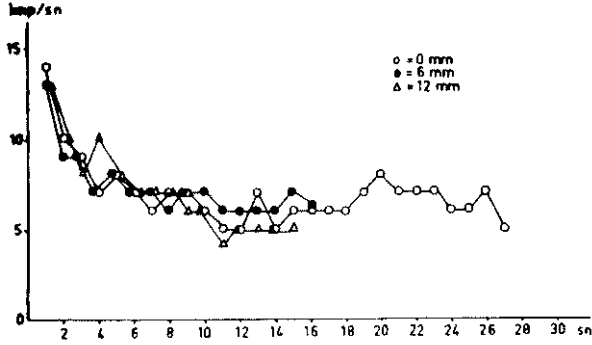
B'de, 600 mV-100 Hz'den 600 mV-200 Hz'e çıkarıldığında uyarın periyodunun ilk 5 saniyesinde inhibisyon, sonraki devrede ise ekstasyon görülüyor.

C'de, 1200 mV-100 Hz'den 1200 mV-200 Hz'e çıkarıldığında ortalama motonöron deşarj frekansı önemsiz de olsa bütün tetanizasyon süresince azalıyor.

Uyarın frekansının arttırılması deşarj frekansında önemli bir değişiklik meydana getiriyor (15,16,21,25,26,27).



Şekil 5. (A,C) Uyarın şiddetinin büyük-tonik motonörona etkisi (25).
Uyarın şiddeti: 300 mV (A), 600 mV (B), 1200 mV (C).
Uyarın frekanst: 100 Hz, 200 Hz (A,B,C).



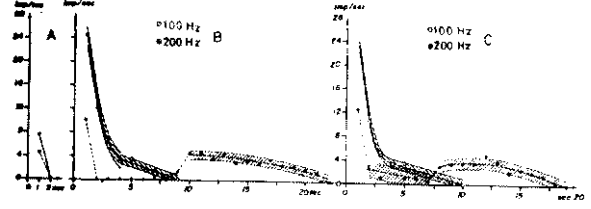
Şekil 7. Küçük-tonik ekstensör motonöronun deney süresince meydana getirdiği impuls aktivitesinin grafiksel görünümü (21).
Uyarın şiddeti: 500 mV
Uyarın frekanst: 100 Hz
Kas uzunlukları: 0 mm, 6 mm, 12 mm.

Büyük-fazik motonöron: Şekil 6'da görüldüğü gibi, A'da, 300 mV-100 Hz'de uyarma periyodunun sadece ilk saniyesinde ortalama 8 impuls meydana geliyor. 300 mV-200 Hz'de ise ortalama deşarj frekanstı 5 imp/sn'ye düşüyor.

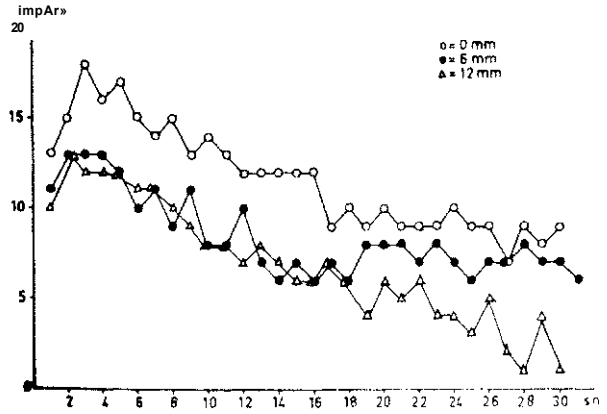
B'de, 600 mV-100 Hz'de deşarj frekansında önemli derecede artma meydana geliyor. 600 mV-200 Hz'e çıkarıldığında ortalama deşarj frekansında önemli derecede azalma oluyor. Fakat bu inhibisyon uyarma periyodunun 10. saniyesinden itibaren azalıyor ve motonöron tekrar deşarja başlıyor.

C'de, 1200 mV-100 Hz'den 1200 mV-200 Hz'e çıkarıldığında deşarja bir inhibisyon görülüyor. Bu inhibisyon 8. saniyede azalıyor ve motonöron tekrar deşarja başlıyor.

Uyarın frekansında artma deşarj frekansının önemli derecede azalmasına neden oluyor (15,16,21,25,26,27).



Şekil 6. (A,C) Uyarın şiddetinin fazik motonörona etkisi (25).
Uyarın şiddeti: 300 mV (A), 600 mV (B), 1200 mV (C).
Uyarın frekanst: 100 Hz, 200 Hz (A,B,C).



Şekil 8. Ortabüyük-tonik ekstensör motonöronun deney süresince meydana getirdiği impuls aktivitesinin grafiksel görünümü (21).
Uyarın şiddeti: 800 mV
Uyarın frekanst: 25 Hz
Kas uzunlukları: 0 mm, 6 mm, 12 mm.

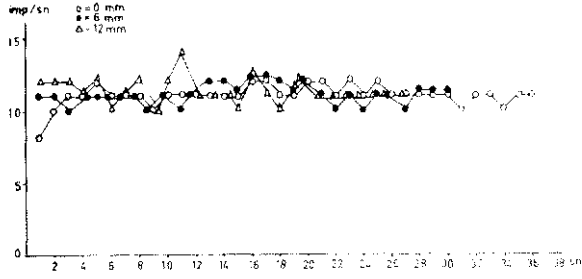
Autogenetik inhibisyonun Etkisi

I. Ekstensör motonöronlar

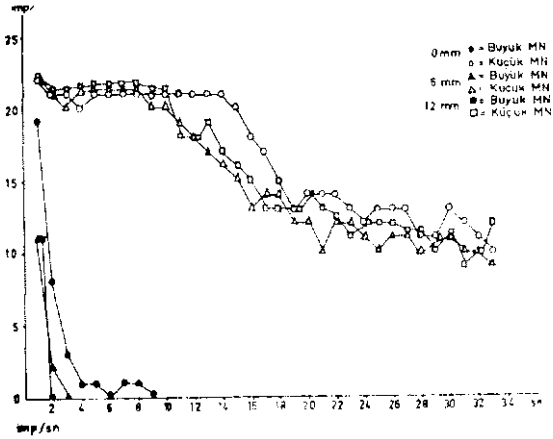
a) **Küçük-tonik ekstensör motonöron:** Şekil 7'de görüldüğü gibi küçük-tonik ekstensör motonöronlar kas uzunluk ve geriminden etkilenmiyor (5,9,10,13,18,19,21,25,26).

b) **Ortabüyük-tonik ekstensör motonöron:** Şekil 8'de görüldüğü gibi ortabüyük-tonik ekstensör motonöronlar kas uzatılmasından önemli derecede etkilenmektedir (5,9,10,13,18,19,21,25,26).

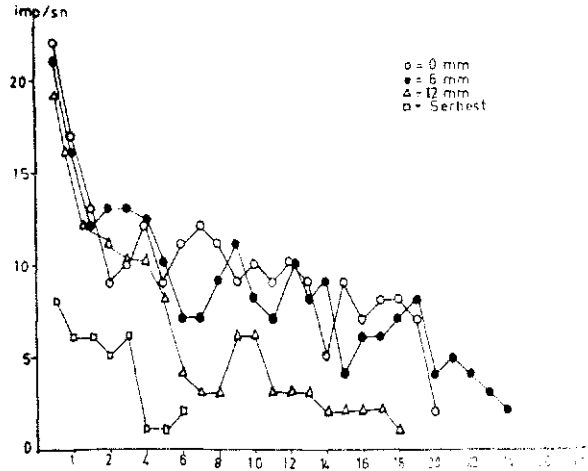
c) **Büyük-fazik ekstensör motonöron:** Rıdvanoğlu tarafından incelenen 9 adet büyük-fazik ekstensör motonöronun kuvvetli derecede autogenetik inhibisyonla etkilendiği ve istatistiksel yönden de bu motonöronlara kas uzatılmasının etkisinin önemli bulunduğu bildirilmiştir (21). Aynı sonuç başka araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (5,9,10,13,18,19,25,26).



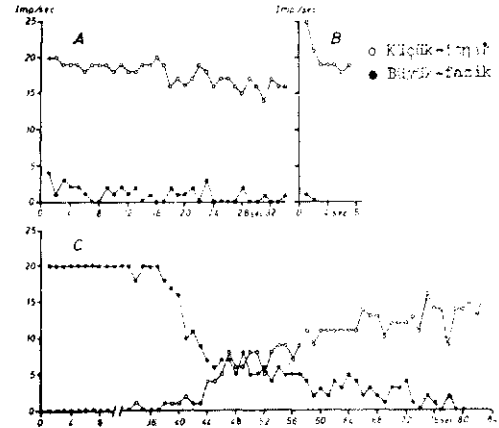
Şekil 9. Küçük-tonik ekstensör motonöronun deney süresince meydana getirdiği impuls aktivitesinin grafiksel görünümü (21).
Uyaran şiddeti: 300 mV
Uyaran frekansı: 20 Hz
Kas uzunluktan: 0 mm, 6 mm, 12 mm.



Şekil 11. Bir büyük-fazik ve bir küçük-tonik fleksör motonöronun deney süresince meydana getirdiği impuls aktivitesinin grafiksel görünümü (21).
Uyaran şiddeti: 250 mV
Uyaran frekansı: 20 Hz
Kas uzunlukları: serbest, 0 mm, 6 mm, 12 mm.



Şekil 10. Ortabüyük-tonik fleksör motonöronun deney süresince meydana getirdiği impuls aktivitesinin grafiksel görünümü (21).
Uyaran şiddeti: 250 mV
Uyaran frekansı: 20 Hz
Kas uzunlukları: serbest, 0 mm, 6 mm, 12 mm.



Şekil 12. Bir büyük-fazik ve bir küçük-tonik motonöronun deney süresince meydana getirdiği impuls aktivitesinin grafiksel görünümü (29).
Uyaran frekansları: 20 Hz (A), 400 Hz (B), 20 Hz (C)

II. Fleksör motonöronlar

a) **Küçük-tonik fleksör motonöron:** Şekil 9'da görüldüğü gibi bu motonöronlar, ancak kas 0 mm uzunlukta iken kontraksiyona sevk edildiklerinde autogenetik inhibisyonun etkileniyorlar. Kas uzunluğunun artırılması bu motonöronları etkilemiyor (1,5,9,10,13,14,18,19,21,27).

c) **Büyük-fazik fleksör motonöron:** Şekil 11'de autogenetik inhibisyonun büyük-fazik fleksör motonöronların çok kuvvetli etkilendiği, küçük-

tonik fleksör motonöronların ise etkilenmediği görülüyor (1,5,9,10,13,14,18,19,21,27).

Rekurrent ve Presinaptik İnhibisyonun Etkisi

Küçük-tonik motonöronların deşarj frekanslarının sınırlandırılmasında rekurrent inhibisyon büyük ölçüde rol oynamaktadır. Presinaptik inhibisyonun buradaki rolü çok azdır.

Ortabüyük-tonik ve büyük-fazik motonöronların deşarj frekanslarının sınırlandırılmasında ise

autogenetik ve presinaptik inhibisyon rolü oynamaktadır (12,22,23,25,26,27).

Tetanizasyonun Etkisi

Şekil 12'de görüldüğü gibi bir büyük-fazik ve bir küçük-tonik motonöron önce 20 Hz'la uyarılıyor (A). Sonra 400 Hz'le 8 saniye süreyle tetanize ediliyor (B) ve 3 saniye aradan sonra tekrar 20 Hz'le uyarılıyor (C). Tetanizasyondan sonra fazik motonöron tonik hale geçerek deşarj başlıyor. Bu tonik deşarj 38 saniye kadar sürüyor. Tonik motonöron ise deprese oluyor. Ancak fazik

motonöronun depresyona geçtiği yerde tonik motonöron deşarj başlıyor.

Motonöron deşarj şekillerinde oluşan post-tetanik değişiklikler, bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (2,11,17,23,24). Daha sonra Tan ve Rıdvanağaoğlu (1975) ve yine aynı yıl Tan tarafından yapılan araştırmalarla büyük-fazik motonöronların post-tetanik potansiyasyona en fazla yatkın oldukları, küçük-toniklerin ise post-tetanik potansiyasyon göstermeyip, büyük-faziklerin potansiyasyonu esnasında posttetanik depresyona uğradıkları gösterilmiştir (28,29).

1. Alnaes E: Static and dynamic properties of Golgi tendon organs in the anterior tibial and soleus muscles of the cat. *Acta Physiol. Scand* 70:176-187,1967.
2. Bagust J, Lewis DM, Luck JC: Posttetanic effects in motor units of fast and slow twitch muscle of the cat. *J.Physiol. (Lond)* 237:115-121,1974.
3. Denny-Brown DE: The histological features of stripped muscle in relation to its functional activity. *Proc. of Roy Soc. of London*, 104 B, 371,1929.
4. Edstrom L, Kugelberg E: Histochemical composition, distribution of fibres and fatigability of single motor units. Anterior tibial muscle of the rat. *J.Neurol. Neurosur. Psychiat.* 31:424-433,1968.
5. From Chr, Noth J: Virtaion-inducet autogenetic inhibition of gamma motoneurons. *Brain Res.* 83 (3): 495497,1975.
6. Gasser HS: The classification of nerve fibres. *Ohio J.Sc.*41:145,1941.
7. Gauthiaer GF: On the relationship of ultrastruucural and cytochemical features to color in mammalian skletal muscle. *Z.Zellforsch.* 95:462482,1969.
8. Gordon G, CG Philips: Slow and rapid components in a flexor muscle. *Quart. J.exp. Physiol.* 38:35-45, 1953.
9. Granit R: Reflex self-regulation of the muscle contraction and autogenetic inhibiton. *J. Neurophysiol.* 13:351-372, 1950.
10. Grait R and G Strom: Autogneetic modulation of excitability of single ventral horn cells. *J. Neurophysiol.* 14: 113-132,1951.
11. Granit R, IID Henatsch, Steg G: Tonic and phasic ventral horn cells differentiated by post-tetanic potentiation in cat extensors. *Acta Physiol. Scand.* 37:114-126,1956.
12. Granit R, Haase J, Rutledge LT: Recurrent inhibition in relation to frequency of firing and limitation of discharge rate of extensor motoneurons. *J. Physiol.* 154: 308-328, 1960.
13. Granit R, JO Kellerth, AI Szumski: Intracellular autogenetic effects of muscular contractions on extensor motoneurons . The silent period. *J.Physiol.* 182: 484-503, 1966.
14. Green DG and JO Kellerth: Intracellular autogenetic and synergistic effects of muscular contraction on flexor motoneuroTnes. *J. Physiol.* 193: 73-94,1967.
15. Henneman E, Somjen G and Carpenter DO: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J.Neurophysiol.* 28: 560-580,1965 a.
16. Henneman E, Somjen G and Carpenter DO: Excitability and inhibitability motoneurons of different sizes. *J. Neurophysiol.* 28:599-620, 1965 b.
17. lloyd DPC: Post-tetanic potentiation Lloyd DPC: Post-tetanic potentiation of response in monosynaptic reflex pathways of the spinal cord. *J.Gen. Physiol.* 33:147-170,1949.
18. Matthews PBC and Rushworth G: The selective effect of procaine on the stretch reflex and tendon jerk of soleus muscle when applied to its nerve *J.Physiol.* 135:245-262, 1957.
19. Mc Couch GP, Deering ID and Stewart WB: Inhibition of knee jerk from tendon spindles of crureus. *J.Neurophysiol.* 13:343-350,1950.
20. Ranvier LA: De quelques faits relatifs a histologic et la Physiologie des muscles stries. *Arch. Physiol. Nor. Pathol.* 6:1,1874.
21. Rıdvanağaoğlu AY: Autogenetik inhibisyonun ekstensör ve fleksör motonöron tiplerine etkisi. *Doga Bilim Dergisi. Cilt 1, Sayı 3:58-64,1977.*
22. Tan Ü, Henatsch HD: Wirkungen von imipramin auf die spinalmotorischen extensor und flexor-systeme der katze. *Naunyn-Schmiedebergs Arch. Pharmak. Exp. Path.* 262: 337-357,1969.
23. Tan Ü: Changes in Firing rates of extensor motoneurons caused by electrically increased spinal inputs. *Pflügers Arch.* 337, 229-239,1972.

24. Tan Ü: The role of Recurrent and Presynaptic inhibition in the depression of tonic motoneuronal activity. Pflügers Arch. 337, 229-239, 1972.
25. Tan Ü, Yörökan S and Rıdvanağaoğlu AY: Ekstensör alfa motonöronların maksimal deşarj frekansını belirleyen etkenler. TÜBİTAK Proje No. TAG-205, 1972. ve TÜBİTAK IV. Bilim Kongresi, 1973.
27. Tan Ü, Rıdvanağaoğlu AY, Arslan A ve Karakaş S: Fleksör motonöron tipleri ve bu motonöronların maksimal deşarj frekanslarını belirleyen etkenler. TÜBİTAK Proje No. TAG-274, 1974.
28. Tan Ü, Yörökan S, Rıdvanağaoğlu AY: Motonöron deşarj şekillerinde oluşan post-tetanik değişiklikler. Türk Fizyolojik Bilimler Derneęi, III. Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı, sayfa 344, 1975.
29. Tan U: Post-tetanic changes in the discharge pattern of the extensor alpha motoneurons. Pflügers Arch. 353, 43-57, 1975.
30. Botterman BR, Iwamoto GA, Gonyea WJ: Classification of motor units in flexor carpi radialis muscle of the cat. J. Neurophysiol. 54:676, 1985.
31. Romanul FCA: Enzymes in muscle. I. Histochemical studies of enzymes in individual muscle fibres. Arch. Neurol. 11: 355-368, 1964.
32. Yoneda T, Oishi K, Fujikura S, Ishida A: Recruitment threshold force and its changing type of motor units during voluntary contraction at various speeds in man. Brain Res, 372:89-94, 1986.