

## KAS İĞCİKLERİ: I. MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Dr. Üner TAN (\*)

### ÖZET

1. Kas iğcikleri, iskelet kaslarının uzunluk farklarına ilişkin informasyonu toplayarak impuls kodu halinde santral sinir sistemine bildiren reseptörlerdir; ekstremitel kas liflerine paralel olarak bulunurlar; 6-28 mikron kalınlığında, birkaç milimetre uzunluğundadırlar.

2. Çekirdek torbalı (nuclear bag) ve zincir çekirdekli (nuclear chain) olmak üzere iki tip intrafuzal kas lifi ayırtdedir. Deferentasyondan sonra zincir çekirdekli atrofiye uğradıkları halde, çekirdek torbalılar dejenerasyona dayanıklıdırlar.

3. İntrafuzal kas liflerinin polar bölgeleri enine çizgildir ve «gama plate» ve «gama trail» olarak iki tip eferent sonlanma ile kaplıdır. Bu liflerin uyarılması kas iğciği deşarj frekansında artışa sebep olur; böylece kas iğciklerinin santral sinir sistemi tarafından hassas kontrolü mümkün olur. Ayrıca bazı kas iğcikleri alfa motor lifleri tarafından sinirlendirilir.

4. İntrafuzal liflerin ekvatoryal bölgesi Gurup I a liflerine ait aferent sonlanmalar tarafından spiral şekilde sarılmıştır. Bunun hemen yanında Gurup II aferent sonlanmaları yer almıştır.

### GİRİŞ

İskelet kaslarının dinamik ve statik uzunluk değişikliklerine ilişkin informasyon, kas iğcikleri

(muscle spindle) tarafından toplanarak elektiriksel impuls frekansları şeklinde kodlanarak santral sinir sistemine bildirilir. Bu reseptörlerin ileri derecede fark-

(\*) Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Kürsüsü Yöneticisi, Doç. Dr.

İlaşmış olması ve ayrıca kuvvetli bir eferent kontrol sisteminin etkisi altında bulunuşu, motor sistemin fonksiyonlarının çok hassas ve amaca en uygun şekilde yapılmasında önemli bir etkidir. Kas iğcikleri, bu teleolojik düşünceye uygun olarak, aferent ve eferent innervasyon bakımından çok zengindir ve bunları sinirlendiren lif sayısı, ektrafuzal kas liflerini innerve edenlerden daha fazladır.

## 1 MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Şekil 1 de, bir iskelet kasında bulunan reseptörler görülüyor. Bunlardan kas iğcikleri bir kaç milimetre uzunlukta, 6-28 mikron çapındadırlar; iğ şeklindeki görünümülerinden dolayı, Kühne (1863) tarafından «Muskel spindle» (muscle spindle, kas iği) olarak adlandırıldılar. Kas iğciklerinde 2-12 adet intrafuzal kas lifi bulunur. İntrafuzal terimi, kas iğinin içine dökülmüş kas lifleri anlamında kullanılmak üzere Sherrington (1894) tarafından ortaya atıldı.

### a) İntrafuzal kas lifi tipleri:

Elektronmikroskopta Karlsson ve ark. (1966) kurbağa kas iğciklerinin kapsülünün iç veduş olmak üzere iki yaprağı bulunduğunu gösterdiler. Kapsül genellikle bir çok intrafuzal lifi birden sarrar (şekil 2b). Ekvatoryal bölgede (şekil 2a ve b) kapsül ile intrafuzal lifler arasında bir aralık vardır. Burada Sherrington'a gö-

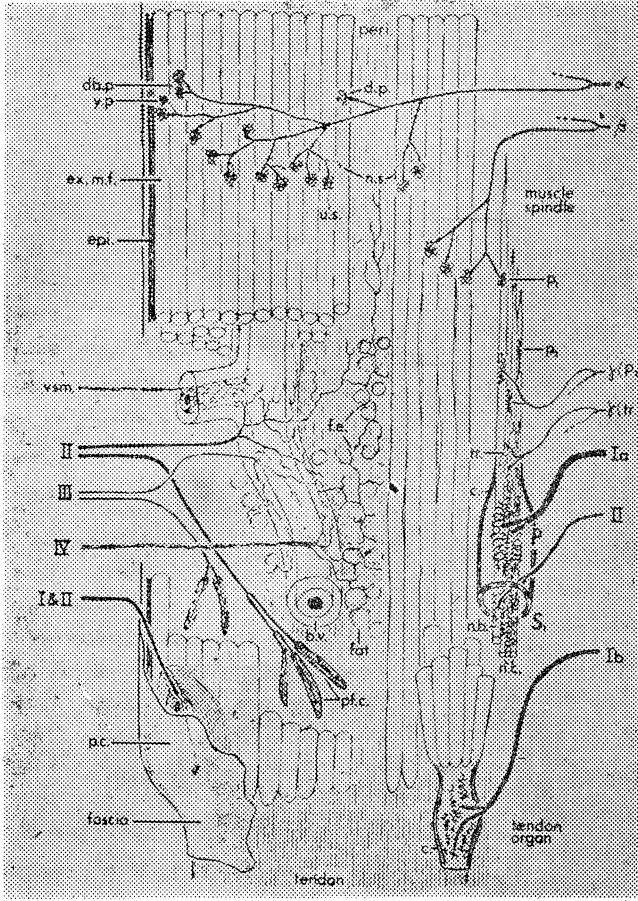
re lenf sıvısı bulunur. Gerçekten bu sayıda lenfositlerin bulunduğu Jahn (1959) tarafından gösterildi.

Kas iğciklerinde iki tip intrafuzal lif bulunur. Bunlardan ekvatoryal bölgesinde bir çekirdek torbası bulunan liflerin (nuclear bag, çekirdek torbalı) histolojik yapısı Barker (1948) tarafından ayrıntılı olarak incelendi. Tavşan kas iğciklerinde sadece bu lifler bulunur. Çekirdek torbalı intrafuzal liflerin ekvatoryal bölgesi çekirdeklerle doludur; kutup bölgelerinde enine çizgiler ve seyrek santral çekirdekler mevcuttur; kutup bölgesi ile ekvatoryal bölge arasındaki kısma myotüp adı verilmiştir (şekil 2a). Bu tip intrafuzal kas lifi bütün memeli hayvanların iskelet kaslarında vardır.

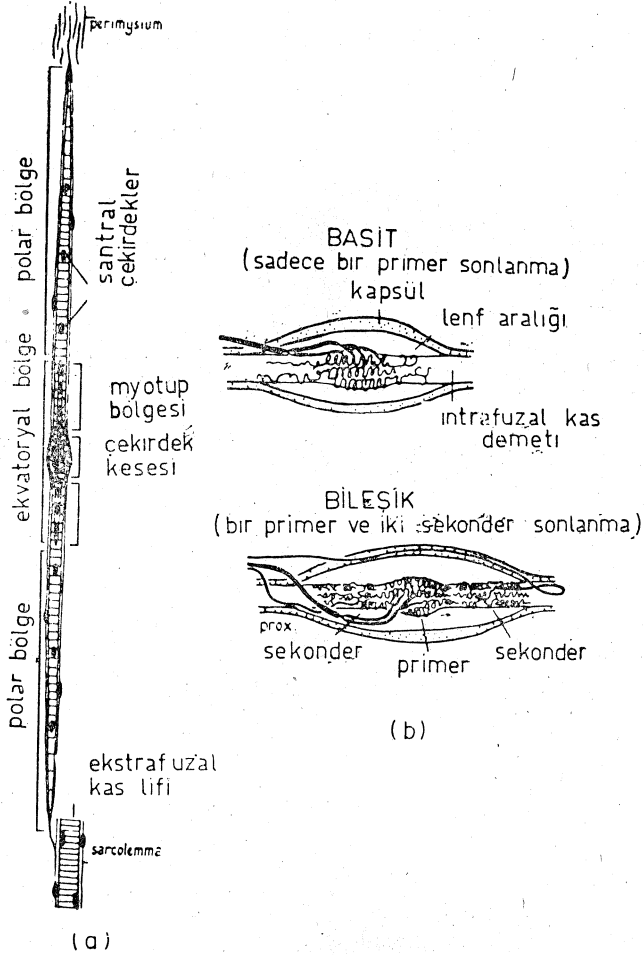
1956 da Cooper ve Daniel insan kas iğciklerinde, ince uzun içinde boydan boya tek sıra halinde çekirdekler bulunan intrafuzal kas lifleri tarif ettiler. Bu zincir çekirdekli (nuclear chain) liflerin (şekil 3) çapları çekirdek torbalılardan daha ince uzunlukları daha azdır. Çekirdek torbalı liflerin bazıları o kadar uzundurki kendi kapsüllerini terkederek başka bir kas iğciğinin kapsülü içinde devam ederler (tandem spindle, ardarda kas iğciği). Çekirdek torbalı liflerin çapı soleusta 19,6 mikron ve interosseus'ta 12,1 mikron zincir çekirdeklilerin ortala-

ma çapları sırası ile 7,5; 18,4 ve 10,7 mikron kadardır (Boyd, 1962). İnterosseus gibi ince bir kasta bu iki tip intrafuzal kas lifinin kalınlıkları arasında en az fark

vardır. Bu kasta her iki tip intrafuzal kas lifinin uzunlukları 5 mm olduğu halde, daha uzun ve kalın bacak kaslarında çekirdek torbalı lifler 7,5 mm, zincir çekirdekli



Şekil 1 : Memeli iskelet kasında bulunan reseptörler ve bunların innervasyonu. Romen rakamları (I, II, III) miyelinli ve miyelinsiz duyuşal lifleri, latin harfleri motor lifleri gösteriyor. b.v. : kan damarı; c. kapsül; dhp.: çift motor son plak; peri perimizyum; ex.m.f. : ektrafuzal kas lifi; n.b. : çekirdek torbalı intrafuzal kas lifi (nuclear bağ); n.c. : zincir çekirdekli intrafuzal kas lifi (nuclear chain); n.s. : düğüm dallanması; P : primer sonlanma; P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> : iki tip intrafuzal motor son plak; peri : Perimizyum; p.c. : Paccini cisimciğı pf.c. : Pasiniform cisimcik; S<sub>1</sub> : sekondor sonlanma; tr. : trail sonlanma; u.s. : ultraterminal y yan dağ; v.m. : vazomotor lifler; y.p. : genç motor son plak;



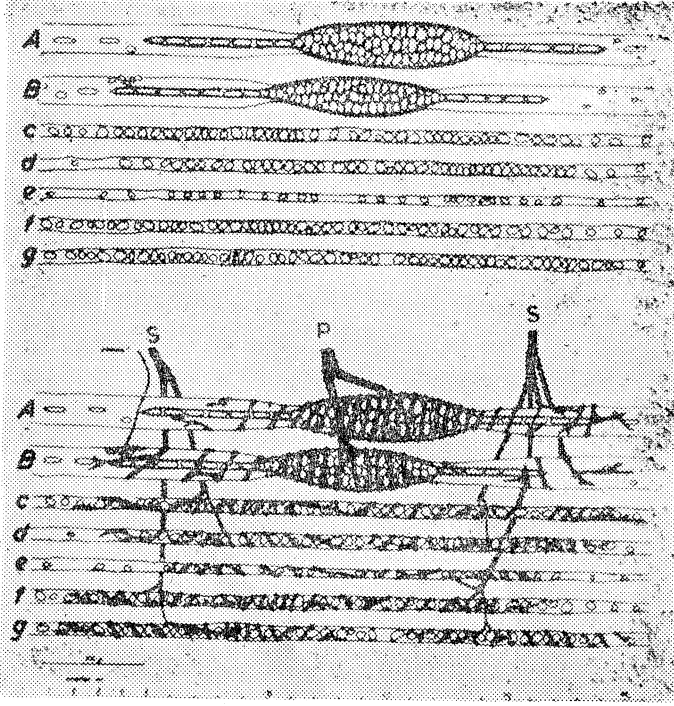
Şekil 2 : İntrafuzal kas lifi. (a) Bir intrafuzal kas lifinde ayırđedilen bölgeler; (b) basit ve bileşik sonlanma şekilleri.

4 mm kadar uzunluktadırlar (Boyd, 1962).

Deferentasyondan sonra zincir çekirdekli lifler, ekstrafuzal kas lifleri gibi atrofiye uğradıkları halde, çekirdek torbalı lifler, dejenerasyona dayanıklılık gösterirler (Boyd, 1962).

Tavşan ekstremite kasların-

da sıklıkla bir kas içiğinde, dört çekirdek torbalı lif (Barker, 1948; Barker ve Hunt, 1964), insan lumbrikal kaslarının uçlarında bulunan kas içciklerinde iki çekirdek torbalı ve hiç yada birkaç zincir çekirdekli lif bulunur (Cooper ve Daniel, 1963). Diğer taraftan, kedinin interosseus kaslarında ve insan lumbrikal kaslarının karın



Şekil 3 : Bir kas iğciğinin intrafuzal liflerinin şematik görünüşleri ve duysal innervasyonu. Yukarıda : intrafuzal liflerin şekli ve çekirdek durumları (A.B: çekirdek torbalı lifler; cc: zincir çekirdekli lifler). Aşağıda : Primer (P) ve sekonder (S) sonlanmaların intrafuzal liflerde lokalizasyon şetilleri. Motor innervasyon gösterilmemiştir.

kısımlarındaki kas iğcikleri 2-4 ü çekirdek torbalı olmak üzere, 9-13 intrafuzal kas lifi ihtiva ederler (Boyd, 1962). İnsan boyun kaslarında 3-4 ü çekirdek torbalı olmak üzere maksimal 14 intrafuzal kas lifi bulunur (Cooper ve Daniel, 1963). Zincir çekirdekli liflere tavşanda olduğu gibi kuşlarda da rastlanmamıştır. Bu intrafuzal liflerin biyolojik faydası, O halde, ancak ince hareketlerin kontrolünde önem kazanıyor.

Kısa olan zincir çekirdekli

lifler, çekirdek torbalı liflerin polar bölgelerine tutunmuşlardır. Bu nedenle sadece zincir çekirdekli lifler kasılırlar.

#### b) Motor innervasyon:

İtrafuzal kas liflerinin polar bölgelerinin motor son plaklarla kaplı olduğu çok önceden gösterilmişti (Kerschner, 1883; Weiss ve Dutil, 1896). Ruffini (1898-99), bu sıralarda yaptığı histolojik araştırmalarda, kas iğ-

ciklerinde «annulo-spiral» «flower spray» ve «plak» olmak üzere intrafuzal kas liflerinde üç tip sinir sonlanmasının olduğunu buldu. Plak sonlanmalarının motor, diğerlerinin duyuşal olduğu ise Sherrington (1894) tarafından gösterildi.

Leksel (1945), ektrafuzal kas liflerini sinirlendiren kalın alfa liflerini selektif olarak bloke ettikten sonra, geriye kalan ince liflerin uyarılması esnasında kas iğciği deşarj frekansının arttığını gördü. Bu liflerin ileti hızı, Erlanger ve Gasser (1937) in A-gama gurubunda olduğu gibi 20-44 m/sn dir. Bu nedenle, kas iğciklerini sinirlendiren bu liflere gama lifleri adı verildi. Bir gama birkaç kas iğciğini birden sinirlendirebilir ( Hunt ve Kuffler, 1951; Crove ve Matthews, 1964). Dejenerasyon deneyleri ile bir kas iğciğinde birkaç komşu segmentten çıkan gama liflerinin toplandığı gösterildi. (Cuajunco, 1932).

Gama aksonları intrafuzal liflerde iki şekilde sonlanırlar ( Boyd, 1962). Bunlardan gama 1'ler motor son plaklar şeklinde (gama-plate), gama 2'ler ise yaygın ađ şeklinde (gama-trail) sonlanırlar. «Gama-trail» ler «gama plate» lere nazaran ekvatoryal bölgeye daha yakın bulunurlar ( şekil 1).

Boyd ve Davey (1966)'e göre

çekirdek torbalı lifler gama-plate-ler tarafından, zincir çekirdekli lifler ise «trail» ler tarafından sinirlendirilirler. Barker gurubu (1967) ise her iki aferent lifinde her iki intrafuzal kas lifi tipini innerve edebileceğini histolojik olarak gösterdi. Tavşan kas iğciğinde bulunan tek tip intrafuzal kas lifinde hem «trail» hemde «plate» sonlanmaları bulunurlar (Barker ve Hunt, 1964; Barker, 1967). İnsanda, bu iki tip eferent sonlanma aynı intrafuzal kas lifinde sonlanabilirler (Coers, 1967). Diğer taraftan, ektrafuzal kas liflerini sinirlendiren alfa motor aksonlarının dallarının da bazı kas iğciklerini motor son plaklar şeklinde innerve ettiği bulundu (Adal ve Barker, 1965).

Özetle. intrafuzal kas liflerinde üç tip motor sonlama ayır-dedilebilir: (1) «gama trail» sonlanmaları, ekvatoryal bölgeye en yakın bulunurlar; (2) tip 11 yada «plate 2» sonlanmaları, orta polar bölgede bulunurlar; (3) tip 1 yada «plate 1» sonlanmaları, ektrafuzal motor son plaklara çok benzerler ve polar bölgelerin uçlarında bulunurlar. Sonuncuların ektrafuzal lifleri innerve eden alfa aksonunun bir yan dalı olduğu (beta aksonu) gösterildi (Barker, 1967). Hiç motor innervasyonu bulunmayan kas iğciklerine de nadirinde olsa, rastlandı (Jones, 1966). Şekil 1 de üç tip motor sonlanmada görülüyor.

### c) Duyusal innervasyon:

Kas iğciklerinin duyusal innervasyonu şekil 1 ve 3 te şematik olarak gösterilmiştir.

İskelet kasından çıkan en kalın duyusal eferentler, çekirdek torbalı liflerin ekvatoryal bölgesini saran annulo-spiral sonlanmaların uzantılarıdır (Sherrington, 1894). Annulo spiral terimi Ruffini (1898-99) tarafından ortaya atılmıştır. Bugün bunun yerine Barker (1948) tarafından teklif edilen «primer sonlanma» yada sadece «primer» terimi kullanılmaktadır. Yine kas iğciği aferentlerinde olan Ruffini'nin «flower spray» terimi yerine de «sekonder sonlanma» yada kısaca «sekonder» terimi kullanılmaktadır. Çünkü primerlerle sekonderler arasında lekalizasyondan başka önemli bir histolojik fark bulunamadı (Boyd, 1962).

Primerlerin çapı 8-12 mikron sekonderlerin çapı 6-9 mikron kadardır (Barker, 1948). Sadece primerleri bulunan basit intrafuzal lifler, insanda boyun ve lumbrikal kısa kas iğciklerinde bulunurlar kasların uçlarında olduğu gibi, (Şekil 2b) (Cooper ve Daniel, 1963). Hem primer hemde sekonderleri bulunan bileşik ara tipler kedinin arka ekstremitte kaslarında % 36 oranında mevcuttur (Barker, 1959). Kompleks (bileşik) kas iğciklerinde ise az sayıda primer ve çok sayıda sekonderler vardır (Şekil 2b).

Primerlere ait spiraller hem çekirdek torbalı hemde zincir çekirdekli liflerin ekvatoryal bölgelerini sarmışlardır. Her spiral Lloyd (1943)'un klasifikasyonuna göre Gurup 1 lifinden bir yan dal meydana gelmiştir. Bu aferentlere, Golgi tendon organlarını sınırlendiren 1b aferentlerinden ayırdetmek için, 1a aferentleri adı verilmiştir (Bradley ve Eccles, 1953). Sekonderler, Gurup II liflerine aittirler. Bileşik kas iğciklerinde sekonderler daha fazla zincir çekirdekli liflerde bulunurlar; daha az olarakta çekirdek torbalı lifleri bir yan dal aracılığı ile sınırlendirirler.

Intrafuzal kas liflerinde P ve S bölgeleri ayırdedilir (Boyd, 1962). P bölgesi, ekvatoryal bölgenin santral kısmıdır ve primerler tarafından spiral şeklinde sarılmıştır. S bölgesi, ekvatoryal bölgenin distal kısmıdır ve sekonderler tarafından sarılmıştır. S bölgesi e-nine çizgili polar bölgesinde bir kısmını kapsamak üzere geniş bir alana yayılır. Bazı sekonderler, motor sonlanmaların çok yakınında bulunurlar (Coers, 1967).

## SUMMARY

### MUSCLE SPINDLES : I MORPHOLOGIC PROPERTIES

1. Muscle spindles are receptors which collect information related to differences in muscle length and transmit these to the central nervous system as impuls

codes. They are 6-28 micra thick, a few mm. long and placed in parallel to the extrafusal muscle fibers.

2. Two types of intrafusal fibers may be differentiated as Nuclear Bag and Nuclear Chain. Even though the Nuclear Chain fibers show atrophy following deafferentation, Nuclear Bag fibers are quite resistant to degeneration.

3. The polar parts of the intrafusal muscle fibers are striated transversely and covered with 2 types of efferent endings, i. e.

gamma plate and gamma trail. The excitation of these fibers results in an increase of the muscle spindle discharge frequency; in this way, a highly sensitive controlling mechanism is imposed on the spindles by the central nervous system. Apart from these, some muscle spindles are innervated by the alpha motor fibers.

4. The afferent endings of the Group 1a fibers are coiled around the equatorial part of the intrafusal fibers in a spiral fashion. Next to these are the Group II afferent endings.