

Kas Tonusu Kontrolü Ve Fizyolojisi

3

Prof. Dr. Nevin A. GÜZEL, Dr. Fzt. Zeynep TUNA, Uzm. Fzt. Gamze Çobanoğlu

GİRİŞ

Bir kasın uzamaya karşı gösterdiği direnç anlamına gelen *kas tonusu*, iskelet kaslarının istirahat halinde bile genel bir gerim altında olmasını sağlar. Bu istirahat gerim düzeyi, gerim reflekslerinin bir sonucudur. Gerim refleksi, kasın gevşeyip boyunun uzamasına cevap olarak ortaya çıkar. Böylece, kası her daim hafif kasılı halde tutarak *kas tonusunun* oluşmasını sağlar. Başka bir deyişle, iskelet kasının gevşek haldeyken bile bir miktar kasılı durumda olmasına *kas tonusu* denir. Tonusun oluşmasını sağlayan yapıların işleyişine geçmeden önce “postural tonus” teriminden de bahsetmek gerekir. Postural tonus, dik durduğumuz zaman yerçekimi kuvvetini dengelemek için antigravite kaslarında meydana gelen aktivite artışı olarak tanımlanmaktadır. Dik duruşu korumak için gereklidir. Bu gerçeğin en çarpıcı göstergelerinden biri şudur: Kişi bilincini kaybettiğinde, kaslar tonusunu kaybeder ve kişi oturma pozisyonunu ya da ayakta duruşunu sürdüremeyen bir yığın halinde yere çöker. Postural tonus için, antigravite kaslarındaki kontraksiyonun yanı sıra, birçok sistemden gelen duyuşal girdiler de gereklidir. Reseptörler aracılığıyla somatosensoriyal sisteme giren uyarılar, medulla spinaliste bulunan negatif geribildirim mekanizmalarına sağladığı bilgi sayesinde kas tonusunun korunmasını sağlar. Çünkü kas ve tendonlardaki gerim reseptörleri gerilmenin derecesini tespit ederek, bu bilgiyi medulla spinalise iletir; böylece kasın boyundaki değişikliklerle ilgili sürekli bir bilgi akışı söz konusudur. Bu akış sürekliliği sayesinde kas tonusunun kontrolü ve korunması mümkün olur. Bu sinyali ileten afferent sinirde yada spinal kordun arka kökünde meydana gelen bir lezyon, sürekli bilgi akışının bozulması nedeniyle postural tonusun değişmesiyle sonuçlanır.

Kas tonusu aktif hareket oluşturmaz ancak kasları uyarana cevap vermeye hazır halde tutar. Eklem eklemlerin stabilizasyonuna ve postürün korunmasına kas tonusu yardımcı olurken, kas tonusunun korunması ve hareketlerin koordinasyonu ise gerim reflekslerinin doğru çalışmasıyla mümkün olmaktadır. Gerim refleksinin kasın uzaması durumunda uyarılması ve aktivasyonunun artması, postural tonusu sağlamanın yanı sıra, çevresel uyaranlara karşı refleks yanıt oluşturabilmek için de önemlidir.

Postural tonusun sağlanmasında, gerim refleksinin temel fonksiyonu özellikle gövdenin büyük ekstansör kaslarının aktivitesini düzenleyerek dik duruşun sürdürülmesini sağlamaktır. Kas tonusunun motor komponentini oluşturan ve medulla spinalisin ön boynuzunda yer alan alfa ve gama motor nöronlar, intrafuzal ve ektrafuzal kas lifleriyle bağlantılıdır. Bu motor nöronların aktivitesi ise duyuşal girdiler ve santral sinir sisteminin daha üst merkezleri, özellikle de beyin sapında yer alan retiküler formasyon tarafından kontrol edilir. Bu kontrolde, gelen merkezi sinir sistemine ulaşan somatosensöriyal girdilere cevap oluşturan serebellum, bazal ganglionlar, talamus ve vestibüler sistemin de modülasyon etkisi söz konusudur. Aşağıdaki bölümlerde, ismi geçen bu merkezlerin kas tonusuna etkileri detaylı şekilde açıklanacaktır.

Yukarıda kısaca anlatılan ve ilerleyen bölümlerde detaylı açıklanacak olan nöral mekanizmaların yanı sıra, nöral olmayan mekanizmalar da kas tonusuna katkıda bulunmaktadır. Kas hücrelerinin membranında oluşan iyon hareketleri hücrenin polarize halini değiştirmek suretiyle, kimyasal, fiziksel ve elektriksel uyaranlar ise direkt kasa etki ederek kas tonusunu etkiler.

Somatosensöriyal Sistemin Kas Tonusu Üzerinde Etkisi

Kişinin hayatta kalabilmesi, iç ve dış çevrede oluşan değişiklikleri fark etmesi (duyu) ve bu uyaranları bilinçli olarak yorumlayıp (algı) cevap oluşturmasıyla mümkündür. Duyusal sistemler, iç ve dış ortamdan kaynaklanan fiziksel ve kimyasal sinyalleri elektriksel olarak iletebilen aksiyon potansiyellerine dönüştürür. Böylece gelen uyarılar, bilgi olarak santral sinir sisteminde ilgili alanlara iletilir.

Somatosensöriyal sistem, merkezi sinir sisteminin en alt seviyesinden başlayan afferent duyuşal sinyallerin periferden alınıp en üstte yer alan duyuşal assosiasyon korteksinde diğer duyu sistemleriyle birleştirilmesi ve yorumlanmasına kadar geçen süreci kapsar. Vücudun duyuşal sisteminin bir parçası olan somatosensöriyal sistemde gelen uyarıları iletebilen bilgiye, yani aksiyon potansiyeline dönüştüren ilk yapı reseptörlerdir. Reseptörler 3 grupta incelenebilir:

- Eksteroseptörler, vücudun dışından orijin alan uyaranlara karşı duyarlıdır. Derideki dokunma, basınç, ağrı ve ısı reseptörleri ve özel duyuşların (görme, işitme, denge, tat, koku) reseptörleri bu gruptadır.

- İnteroseptörler, iç organlar ve kan damarları gibi vücudun içinden gelen uyarılara yanıt vermektedirler ve kimyasal değişiklikler, doku gerilmesi ve ısı gibi değişen uyarıların sürekli monitörize etmektedirler.
- Propriyoseptörler iskelet kaslarında, tendonlarda, eklemlerde, ligamentlerde ve kemik-kasları saran bağ dokusunda bulunur ve internal uyarılara yanıt verirler. Organların içerdiği reseptörlerin ne kadar gerildiğine göre vücut hareketlerini sürekli monitörize eder ve beyne kesintisiz bir bilgi akışı sağlarlar. Kas tonusunun oluşumunda kritik rol oynarlar.

İskelet kasında tonusun oluşumu ve hareketlerin ortaya çıkmasında önemli olan iki duyuşal girdi söz konusudur. Bunlardan ilki, kasın uzunluğu hakkında kas içiği adı verilen propriyoseptörlerden sağlanan bilgidir. İkincisi ise, golgi tendon organı isimli propriyoseptörler aracılığıyla elde edilen ve o kasa ait tendonun gerim miktarı hakkındaki bilgidir. Bu iki tip propriyoseptör hem spinal reflekslerde anahtar rol oynar hem de üst merkezlere bilgi akışı sağlar.

Tablo 3.1: Afferent reseptör ve efferent motor nöronların özellikleri

AFFERENTLER				
Reseptör	Akson	Akson çapı	Hızı	Fonksiyonu
Kas içiği	Ia	12-20	70-120	Uzunluğun değişim oranı
	II	4-12	20-70	Statik uzunluk
Golgi tendon organı	Ib	12-18	70-110	Kas gerilimi
EFFERENTLER				
Motor nöron	Hedef	Akson çapı	Hızı	Fonksiyon
α motor nöron	Ektrafuzal kas lifi	8-13	40-80	İstemli kontrol
γ motor nöron	Intrafuzal kas lifi	3-8	20-50	Kas içiği hassasiyetini ayarlama

Feher J, Spinal Reflexes (2012), Quantitative Human Physiology: An Introduction, 400-408

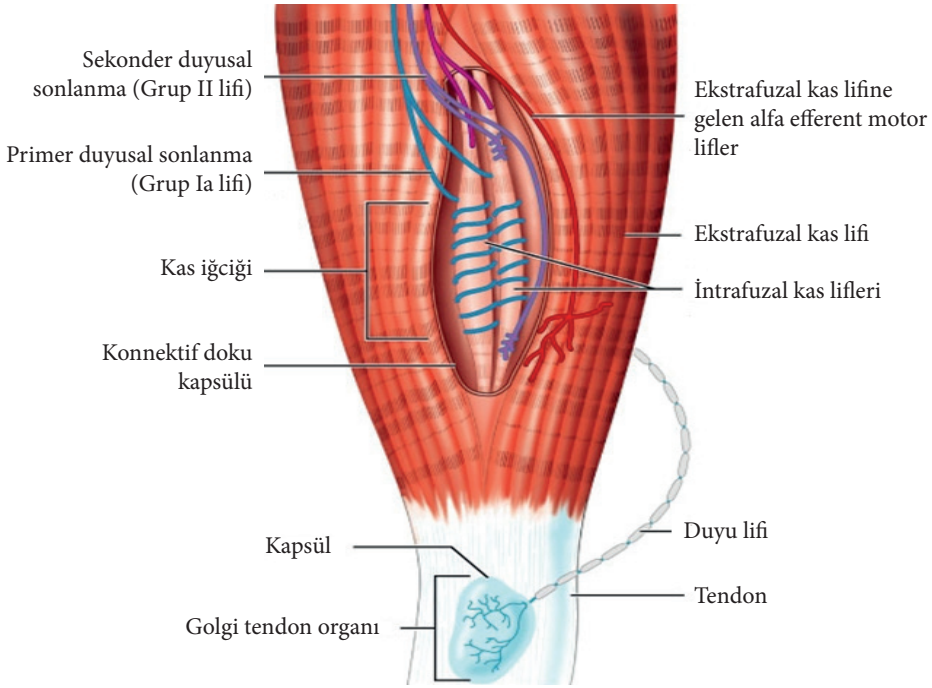
Kas içiği

Kas içiği hemen hemen tüm iskelet kaslarında bulunur ve intrafuzal lifler olarak da adlandırılır. İskelet kasının kontraktıl özellik gösteren asıl lifleri ise ektrafuzal lifleri olarak adlandırılır. Kas içiği, kasın uzunluğu ile ilgili bilgiyi afferent nöronlar aracılığıyla merkezi sinir sistemine gönderir. Gelen bilgi burada ilgili vücut segmenti-

KAS TONUSU BOZUKLUKLARI ve FİZYOTERAPİ-REHABİLİTASYON

nin pozisyonunu saptamada kullanılır. Ayrıca aynı bilgi, gerim refleksi yoluyla motor nöronları uyararak tonusu düzenlemede de anahtar rol oynar.

Kas iççikleri ortalama 3-10 ektrafuzal life karşılık 1 tane olacak sayıda ve ektrafuzal liflerin arasında yerleşmiş olarak bulunur. Ektrafuzal liflerin $\frac{1}{4}$ 'ü boyda olan intrafuzal lifler, kas liflerine paralel yerleşimlidir. El ve derin boyun kasları gibi ince motor hareketler oluşturan kaslarda sayıca daha fazla bulunduğu bilinmektedir. Temel görevi, paralel yerleşimi sayesinde kasın boyundaki değişiklikleri algılamaktır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Kas iççığının yerleşimi ve yapısı

Kas iççiklerinin yapısına bakıldığında ortada nükleer kese adı verilen lifler ve bunların etrafında yaklaşık iki katı sayıda nükleer zincir adı verilen liflerden oluşur. Mekik şeklinde ve kapsülle sarılı olan bu yapı, ektrafuzal liflerin arasında yerleşmiştir.

- Nükleer kese lifleri bir kas iççığı içerisinde 2-3 adet bulunur. Bu liflerin çekirdekleri orta kısımda toplandığından bu ekvatorial bölge şişkince görünür. Bu görünümü

nedeniyle kese olarak tanımlanmıştır. Orta kısmının kasılma özelliği yoktur ancak elastisitesi sayesinde uzatıldığında hızla gerilir.

- Nükleer zincir lifleri ise her kas iğciği içerisinde 6-7 adettir. Çekirdekleri lif boyunca tek sıra halinde sıralandığı için zincir olarak tanımlanmıştır. Bu lifler daha az elastik olduğu için yavaş gerime duyarlıdır.

Nükleer kese ve nükleer zincir lifleri, etrafını saran kapsül aracılığıyla ekstrasfuzal kas liflerinin tendonlarına bağlanırlar. Hem bu bağlantı hem de paralel yerleşimi nedeniyle, kasın boyunun uzaması ve kısalmasından ekstrasfuzal liflerle aynı şekilde etkilenirler. Diğer bir deyişle, kasın boyu her uzadığında kas iğcikleri de uzarken, her kıalmada onlar da ekstrasfuzal lifler gibi kısalır.

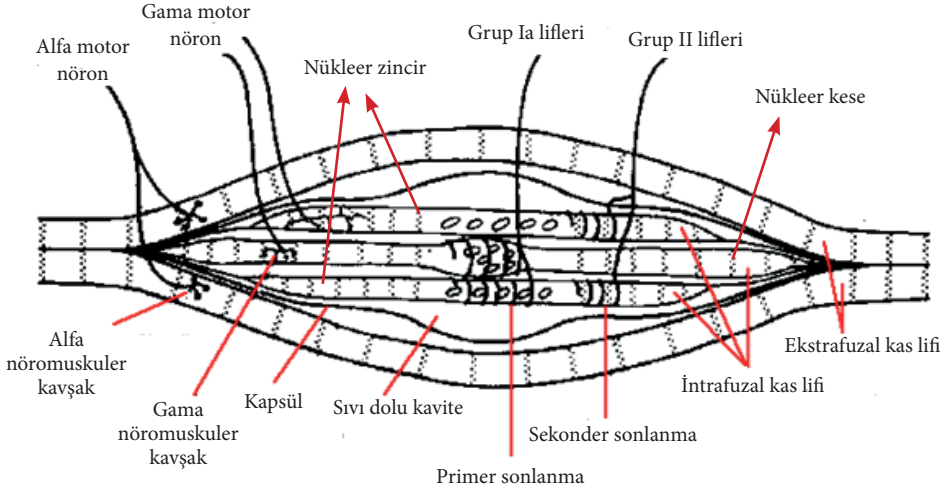
İntrafuzal kas liflerinin etrafı grup Ia ve grup II afferent lifleriyle sarılmıştır. Her iki tip afferent sinir de kalın myelinlidir. Primer afferentler olan Grup Ia daha geniş çaplı olduğu için iletim hızı daha yüksektir.

- Grup Ia duyuşal sonlanmaları (primer afferentler); hem kese hem zincir liflerinin ekvatorial bölgesini spiral şekilde sarar. Kas boyundaki değişimin oranını algılayarak gerilmeye hızla yanıt verir. Grup Ia afferentleri dinamik kas uzunluğuna ve uzunluğun değişim oranına en hassas olan liflerdir.
- Grup II sonlanmalarının (sekonder afferentler); çoğu, nükleer zincir liflerinin ekvatorial kısımlarına komşu olan bölgelerini sarar. Bu bölge daha az elastik ve gerilmeye karşı daha az hassastır. Bu nedenle, sabit düzey ve statik kas uzunluğuna daha hassastır.

İntrafuzal liflerin kutup olarak adlandırılan periferik kısımları gama motor nöronlarla bağlantılıdır. Aktin ve myozin gibi protein içeriği nedeniyle bu kutup bölgeleri kontraksiyon özelliğine sahiptir. İntrafuzal liflerin kutup bölgelerini uyaran gama motor nöronlar, ekstrasfuzal lifleri uyaran alfa motor nöronlarla koordineli çalışırlar. Her iki motor nöron grubunun hücre gövdeleri medulla spinalis içerisinde yer alır ve yakın yerleşimleri sayesinde birbirlerinin aktivitesini etkiler.

İntrafuzal lifleri uyaran gama motor nöronlar da kendi içinde iki grupta incelenir:

- dinamik nükleer kese liflerini uyaran gama dinamik motor nöronlar, Grup Ia afferentlerinin cevabını arttırır.
- statik nükleer kese ve zincir liflerini uyaran gama statik motor nöronlar ise dinlenme durumunda kas uzunluğunu algılayan Grup II afferentlerin aktivasyonunu arttırır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Kas içiğinin duyu ve motor bağlantıları

Kas içiği, kasın boyunda internal ve eksternal gerimle oluşan değişiklikleri algılayabilir. Eksternal gerimle oluşan uzama gerim refleksinin temelini oluşturur ve refleksler bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır. Kısaca özetlenecek olursa, tıpkı patella refleksinde olduğu gibi, kasın boyundaki ani uzama durumunda, nükleer kese lifleri uyarılır ve bu uyarı çok hızlı yanıt oluşturan Grup Ia afferentleri ile medulla spinalise taşınır. Burada monosinaptik bir bağlantıyla o kasın alfa motor nöronları uyarılır ve ekstra-fuzal kas liflerine giden uyarıyla ilgili kas kasılır.

İnternal gerim ise intrafuzal liflerin kontraktıl özellik gösteren kutup bölgelerinin gama motor nöron aktivitesi sonucu uyarılmasıyla oluşur. İnternal gerimde nükleer zincir lifleri rol oynar ve kasın gevşeyip boyunun uzaması durumunda uyarı doğurur. Bu olayda uyarılar, Grup II afferentleriyle medulla spinalise taşınır.

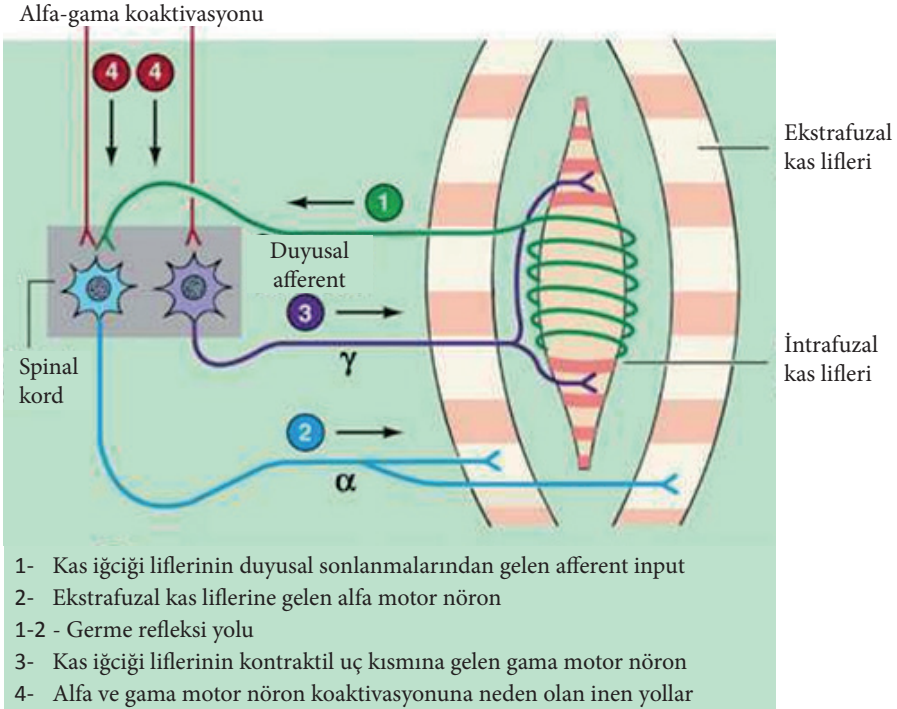
Patolojik tonus

Kas içiğinin afferent ve efferent bağlantıları tonusta ve kontraksiyonda anahtar rol oynar. Bu nedenle, bu bağlantılardaki herhangi bir sorun, ilgili kasın tonusunda, istemli ve otomatik hareketlerde ve reflekslerde problemle sonuçlanır. Bu bağlantıların kesilmesi durumunda tonusta ve reflekslerde kayıp yaşanırken, bu bağlantıların sağlam kalıp üst merkezlerde sorun yaşanması ise tonusun artışı ve reflekslerin şiddetlenmesiyle sonuçlanmaktadır. Kasta tonusun artması hipertoniye, azalması ise hipotoni olarak adlandırılır.

Alfa-Gama Ko-aktivasyonu

İskelet kasıyla bağlantılı olan motor nöronlar iki grupta incelenir:

- Alfa motor nöronlar merkezi sinir sisteminin iskelet kaslarını kontrol ettiği yoldaki son ortak yoldur. Güç üretiminden sorumlu olan ektrafuzal kas liflerini uyarırlar ve hücre gövdeleri medulla spinalis ön boynuzunda yer alır.
- Gama motor nöronlar ise intrafuzal kas liflerinin kutup bölgeleriyle bağlantılıdır. Sinir sistemi göz önüne alındığında, tüm motor nöronların 1/3'ünü kas içciklerinde sonlanan gama motor nöronlar oluşturmaktadır. Gama motor nöronlar beyin sapındaki retiküler formasyondan impuls alırlar ve hücre gövdeleri medulla spinalis ön boynuzunda, alfa motor nöron gövdelerine komşudur. Aksonları alfa motor nöronlarınınkinden daha küçüktür. Alfa motor nöronlarının aksine, gama motor nöronlar kasların uzamasını veya kışalmasını doğrudan ayarlamazlar, ancak kas içciklerinin uç kısımlarına gönderdikleri impulslarla içciğin orta bölümünün uza-yıp gerilmesine neden olur. Bu uyarı alfa motor nöronların sürekli ateşlenmesini sağlayarak kas kasılmasına neden olur.



Şekil 3.3: Alfa-gama koaktivasyonu

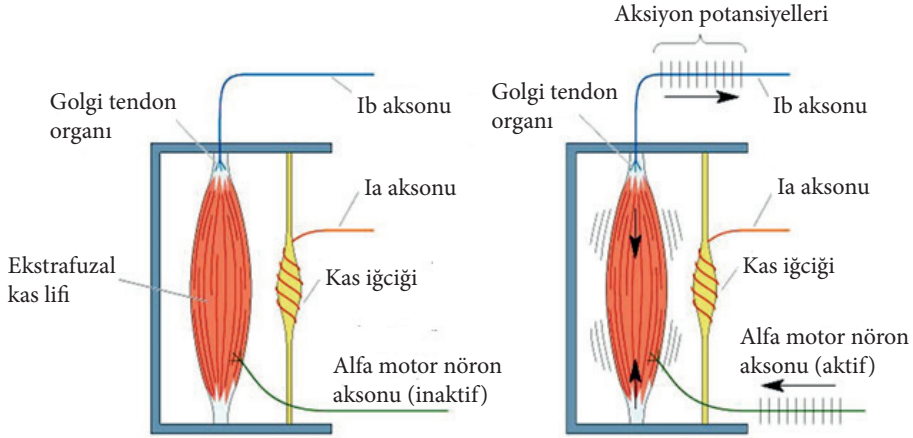
Merkezi sinir sisteminin alfa motor nöronlara gönderdiği her sinyalde, hücre gövdeleri komşu yerleşimli olan gama motor nöronlar da uyarılır. Bu durum “alfa-gama ko-aktivasyonu” olarak tanımlanır (Şekil 3). Böylece alfa motor nöronlar her uyarıldığında alfa-gama koaktivasyonu sayesinde gama motor nöronlar da uyarılmış olur. Alfa motor nöronlara uyarı geldiğinde, ko-aktivasyon sayesinde uyarılan gama motor nöronlar kas içiğinin kutup bölgesinde kontraksiyon oluşturur. Bu kontraksiyon, ekvatorial bölgenin uzayıp gerilmesiyle sonuçlanır. Bu gerilme etkisi, afferent uyarı doğurarak alfa motor nöronların ateşlemesini arttırır. Böylece devam eden bu mekanizma alfa-gama ko-aktivasyonu olarak adlandırılır. Bu mekanizma sayesinde, bir kasın kontraksiyonu sırasında kontraksiyon gücü arttıkça kasın tonusu da artar.

Golgi Tendon Organı (GTO)

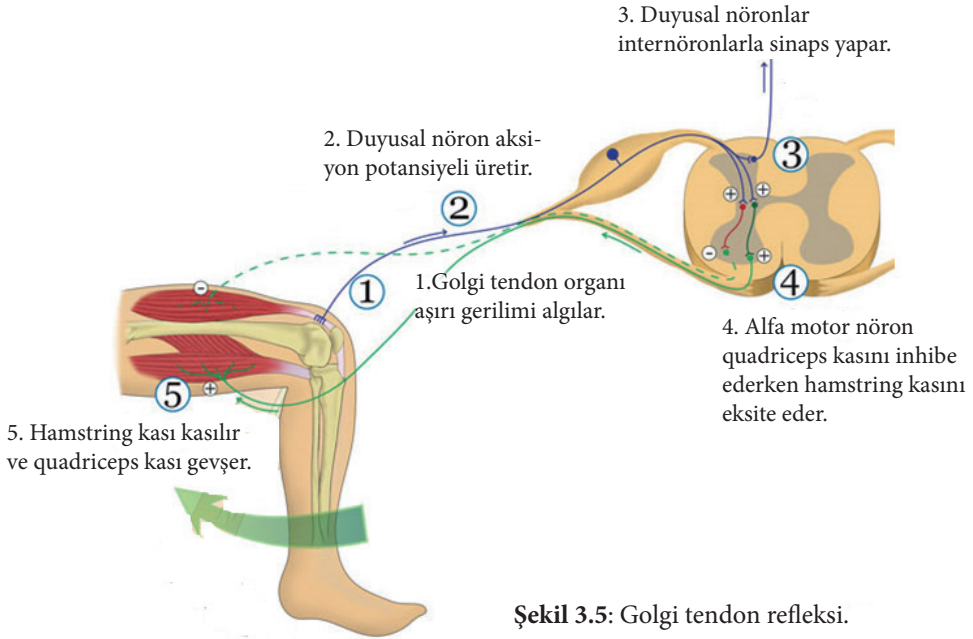
İskelet kasında yerleşimli diğer bir önemli propriyoseptör ise golgi tendon organıdır (GTO). GTO, kas gövdesinin tendonla birleşim yerinde, kas liflerine seri bağlı bir yapıdır. GTO, kasta üretilen kuvvetle ilgili bilgiyi merkezi sinir sistemine taşıyan 1 mm boyunda ve 0,1 mm çapında etrafı kapsülle çevrili bir reseptördür. Bu uyarı iletimini, her bir GTO'ya bağlı olan Grup Ib afferentleri gerçekleştirir. Kas güçlü bir şekilde kasıldığında tendonda artan bir gerilim kuvveti oluşur. Bu durumda tendonun ve dolayısıyla GTO içindeki kollajen liflerin boyu uzar ve lifler arası boşluklar daralır. Bu değişiklik mekanik bir uyarı oluşturarak aksiyon potansiyeli doğurur. Aynı şekilde kas gevşediği zaman da bu kez baskının ortadan kalkması ve daralan boşlukların eski hacmine dönmesi yine mekanik uyarı oluşturur. Kasın kontraksiyon gücü arttıkça tendonun boyu uzayıp gerilimi artacağı için GTO aktivitesi artar. Böylece GTO, merkezi sinir sistemine kas kontraksiyonunun gücü ve tendonun gerim miktarıyla ilgili bilgi sağlar. Bu bilgi, golgi tendon refleksinin afferent yolağını oluşturur. Kasın yaralanmaya karşı korunması, bu afferent bilginin inhibitör mekanizmaları uyarılmasıyla sağlanır (Şekil 4). Golgi tendon refleksi refleksler bölümünde daha detaylı açıklanacaktır. Ancak kas tonusu ve kontraksiyona katkısını anlamak için kısaca bahsedilmesi gerekir.

Golgi tendon refleksi: Kasın oluşturduğu kontraksiyon kuvveti arttıkça, tendonun boyu uzar ve gerimi de doğru orantılı olarak artar. Bu durumda, tendondan gönderilen uyarılarla kasın gevşetilmesini sağlayan koruyucu bir refleks ortaya çıkar. Bu reflekse golgi tendon refleksi denir. Kasın aşırı kasılması durumunda bu uyarı Grup Ib afferentleri ile medulla spinalise gider. Uyarılar ön boynuzda bir inhibitör internöron ile sinaps yapar. Bu inhibitör internöron, ilgili kasın alfa motor nöronunu inhibe ederek kasın gevşemesini sağlar. Bu refleks tendonların kopmasını önleyen koruyucu bir refleks olarak büyük önem taşımaktadır. Bu refleks sayesinde ilgili kasın inhibe olmasına otojenik inhibisyon adı verilir (Şekil 5).

Kas içiği ve GTO, kas tonusu oluşumu ve kontraksiyonda anahtar rol oynayan periferik yapılardır. Bu yapıların yanı sıra, merkezi sinir sisteminin çeşitli seviyeleri de hem bu periferik yapıları etkileyerek indirekt yoldan hem de direkt yolla mekanizmaya katkıda bulunur.



Şekil 3.4: Golgi tendon organı çalışma mekanizması



Şekil 3.5: Golgi tendon refleksi.

Tonusu Oluşturan Supraspinal Mekanizmalar

Afferentler aracılığıyla medulla spinalise gelen duyuşsal bilgi, hızlı cevapların oluşması için ön boynuza iletilirken aynı zamanda merkezi sinir sisteminde de üst seviyelere taşınır. Bu merkezler, iskelet kasında hareketin ortaya çıkmasının yanı sıra, bu hareketlerin koordinasyonu, anlamı, sınırlandırılması, tersine çevrilmesi ve modülasyonunu da sağlamaktadır. Merkezi sinir sisteminde bu modülasyon ve kontrol hiyerarşik bir düzende çalışır; diğer bir deyişle, her bir merkez bir altında yer alan merkezi kontrol edebilir.

Beyin Sapı ve Retiküler Formasyon

Hiyerarşik sıralamada medulla spinalisin ardından gelen beyin sapı, anatomik olarak da beyin ile medulla spinalis arasında yer alır. Hareketleri başlatan ve postürü kontrol eden nöral devreleri içerir ve bu devreleri hem alt hem üst yapılara bağlar. Yapısal olarak, tüm kranial sinir çekirdeklerini bulunduran, solunum ve dolaşım kontrolü, uyku ve uyanıklık döngüsünün kontrolü ile dikkatin sürdürülmesi, motor koordinasyon ve kas tonusunun düzenlenmesi mekanizmaları gibi hayati sorumlulukları olan merkezi sinir sistemi bölümüdür. Beyin sapının iç kısımlarında yerleşmiş ve özelleşmiş nöron toplulukları ise retiküler formasyonu oluşturur. Bu özel yapı, medulla oblongata, pons ve mezensefalon boyunca yerleşmiş olan ve farklı fonksiyonları olan nöron topluluklarını ve bunların bağlantılarını içerir. Genel olarak, bu alandaki büyük nöronların fonksiyonları motorken küçük nöronların fonksiyonları duyuşsaldır.

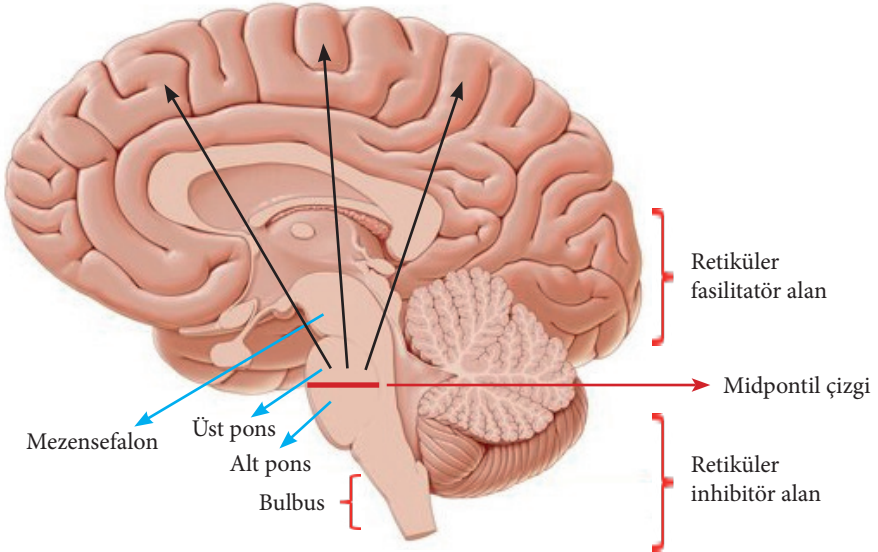
Anatomik olarak beyin sapının ortasından geçtiği varsayılan midpontal çizgi beyin sapını alt ve üst olmak üzere iki parçaya ayırır (Şekil 3.6). Bu horizontal çizginin üstünde kalan ve ponsun üst yarısı ve mezensefalonun oluşturduğu bölüm *fasilitatör* özelliktedir. Bu bölgeden medulla spinalise inen motor lifler alfa ve gama motor nöronları uyardığından retiküler formasyonun bu bölgesine *retiküler fasilitatör alan* denir. İstirahat sırasında bu bölgeden gelen liflerin taşıdığı küçük elektriksel sinyaller uyarılma eşiği düşük olan bazı alfa ve gama motor nöronları uyarır ve bunlara ait kas liflerinin hafif hafif sürekli kasılmasını sağlar. Böylece kas tonusunu da sağlamış olur. Bir hareket sırasında korteksten emir geldiğinde ise bu alanların deşarjları artar, böylece hem kas kontraksiyonu hem de kasta tonus artışı gerçekleşir.

Retiküler formasyonun bu fasilitatör alanından başlayarak talamus ve en üstte yer alan korteksi aktive eden küçük duyuşsal nöronların oluşturduğu yapıya ise *retiküler aktivatör sistem (RAS)* denir. Retiküler formasyonun RAS olarak bilinen kısmının nöronları beyin başka bir bölümü tarafından inhibe edilmedikçe serebral kortekse ve talamusa devamlı olarak impuls göndermektedir. RAS lifleri kortekse çıkmadan önce talamusa uğrar. Talamus beyin gerekli duylara karşı dikkatini yönlendirir. RAS lifleri talamusta genel bir aktivasyon oluşturarak beyinde uyanıklık ve dikkat hali meydana getirir. Ya da talamusun görme, işitme, somatik duylarla ilgili çekirdeklerine gider ve korteksin belli

duyulara karşı dikkatini artırır. Ayrıca RAS beynin uyanıklığını ve alert olma durumunu tayin eder. Yani şuurun açık olmasını sağlar. Geceleri uyku hali ise, beynin bu fasilitatör alanının inhibisyonu ile ortaya çıkar. Aynı zamanda uyku esnasında bu alandan medulla spinalise giden lifler de inhibe olarak kas tonusunun azalmasına neden olur.

Retiküler formasyonun fasilitatör alanları görme, işitme ve somatik duyularla ilgili birçok uyarının giriş bölgesini oluşturur. Yani bu bölge nöronlarına devamlı olarak bir duysal giriş söz konusudur. Bu nedenle bu nöronların uyarılma eşikleri düşüktür yani bu nöronlar hipopolarize durumdadır. Bu sayede bu bölgede yer alan nöronlar devamlı küçük deşarjlarla uzaysal sumasyona uğrayarak spontan uyarı doğurabilmektedir.

Retiküler formasyonda midpontil çizginin altında kalan kısım yani ponsun alt kısmıyla bulbus bölgeleri inhibitör özelliktedir ve *bulbo retiküler inhibitör* alan olarak isimlendirilir. Bu alandan çıkan motor sinyaller alfa ve gama motor nöronları üzerinde inhibitör etki yaratır. Bu inhibitör alanın aktive olması RAS'ı ve korteksi inhibe ederek uyanıklığı azaltır. Ancak fasilitatör alanın aksine, bu alan spontan uyarı doğurma özelliğine sahip değildir. İnhibisyon görevini yerine getirebilmek için daha üst merkezlerden uyarılması gerekmektedir. Bu nedenle üst merkezlerde örneğin kortekste bir lezyon oluştuğunda fasilitatör alan spontan deşarj doğurmaya devam ederken, inhibitör alanın uyarıları kesilecektir. Bu durumda kaslarda tonusun artması (hipertonisite) ve reflekslerde şiddetlenme (hiperaktif refleks) görülür.



Şekil 3.6: Beyin sapı retiküler formasyonu

Serebellum

Serebellum, posterior kranial fossaya yerleşmiştir ve serebrumdan sonra merkezi sinir sisteminin en büyük bölümünü oluşturur. Serebellumun genel olarak dengenin korunması, postür ve tonusun düzenlenmesi ve göz hareketlerinin kontrolü gibi görevleri vardır. Serebelluma ulaşan impulslar, propriyosepsiyon duyusunun bilinçdışı kontrolünü sağlar. Serebellum böylece, kas tonusu, kaslar arası koordinasyon, kasların kasılma şekli gibi motor özellikleri ve oturma, ayakta durma ve yürüme gibi aktivitelerde vücudun postürünü ayarlamaktadır. Serebellumun istemli motor hareketleri düzenleyen aktivitesini ise, kortikal motor alanlardan gelen uyarılar sağlar. Serebellum, motor komponentin yanı sıra, duyu fonksiyonu da oldukça baskın bir merkezi sinir sistemi bölümüdür. Çünkü vücuttaki tüm propriyoseptörlerden, görme ve denge ile ilgili yollardan gelen tüm uyarılar serebelluma uğrar. Serebellum daha çok periferden gelen tüm duyu girdileri kullanarak vücut pozisyonlarını, postürü ve hareketleri koordine eden bir merkez olarak çalışmaktadır.

Hemen tüm duyu sistemlerden impuls alan serebellum, hareketler hakkında beyin sapından ve hareketin planlanması hakkında serebral korteksten bilgi alarak bunları yeniden beyin sapı aracılığıyla medulla spinalise gönderir. Serebellumun anatomik ve fonksiyonel bağlantıları, buraya merkezi sinir sisteminin birçok bölgesiyle direkt ilişki sağlamaktadır. Bağlantıları sağlayan üç adet pedinkülü vardır. Pedinkulus serebellaris superior derin serebellar nukleuslardaki nöronlardan gelen sinyalleri talamus aracılığı ile serebral kortekse taşımaktadır. Pedinkulus serebellaris medius motor korteks tarafından başlatılan istemli motor aktivitelerle ilgili bilgiyi ponstan serebelluma taşır. Pedinkulus serebellaris inferior ise bulbus ve serebellumu birbirine bağlamaktadır. Serebellumun medullar bölgesinde ise dört adet derin nukleus bulunur. Serebellumdan çıkan bütün efferent sinyaller bu derin nukleuslardan çıkar. Serebellum lezyonları felce ve duyu kaybına neden olmaz. Öte yandan, geniş alanların harabiyeti sonucunda, derin nukleusların kortekse gönderdiği eksitatorik uyarılar ortadan kalktığı için hipotoni görülür. Ancak anterior lob normalde vestibular nukleusları inhibe ettiğinden, buranın harabiyeti vestibulospinal yollarda inhibisyonun azalmasına ve hipertoniye neden olur.

Serebellum anatomik açıdan yukarıda anlatıldığı gibi bölümlere ayrılırken, fonksiyonel olarak da vestibuloserebellum, spinoserebellum ve serebroserebellum olarak üç bölüme ayrılmıştır. Vestibuloserebellum (flokulonodüler lob); vestibüler sistem ve görme alanlarından bilgi alır. Dengenin denetimi ve sağlanması ile göz hareketlerinin kontrolü temel işlevidir. Spinoserebellum; vermis ve serebellum hemisferlerinin intermedial loblar denilen medial bölümlerinden oluşur ve spinoserebellar traktus ile gerilme reseptörlerinden bilgileri alır. Vestibüler, görsel ve işitsel sistemlerin ve somatosensoryal korteksin de serebellumun bu bölümüne projeksiyonları bulunur.

Spinocerebellumun çıktıları beyin sapı retiküler formasyona, vestibüler çekirdeklere, talamus ve motor kortekse ve orta beyindeki kırmızı çekirdeğe gider. Vermis ve intermediat loblar hareketin doğru bir şekilde yapılmasının kontrolünden sorumludur. Spinal korddan gelen geri bildirimlerle yapılmak istenen motor emri kıyaslayarak hareketteki sapmaları düzeltirler. Spinocerebellumun en önemli görevlerinden biri de kas tonusu üzerindeki rolüdür. Kas tonusunu, kas içiğine giden gama motor nöronların aktivitesini uyaran fastigial nukleus ve nukleus interpositusların eksitator aktivitesiyle düzenler. Serebrocerebellum ise; beyin sapındaki pontin çekirdeğinden girdi alır ve bu bilgiyi serebral kortekste geniş alanlara iletir. Serebrocerebellum hareket planlanmasında, ayrıca hazırlığında ve motor öğrenme sürecinin bir parçası olarak harekete ilişkin bilgilerin değerlendirilmesinde görev alır. Ayrıca hareketin ince ayarlanmalarının yapılmasında da fonksiyon göstermektedir.

Talamus

Talamus, hem çeşitli duyarların serebral korteksteki primer duyu merkezine iletilmesinde, hem de cerebellum ve bazal ganglionlardan gelen hareket ile ilgili bilgilerin serebral korteksin motor bölgelerine iletilmesinde rol alır. Talamus duyarların, motor aktivitelerin ve kortikal uyanıklığın yönlendirilmesinde oldukça önemlidir. Talamusun içinde bulunan nukleuslar buldukları lokalizasyonlara göre (örneğin; ventral posterolateral) isimlendirilmektedir. Her nukleus kendine ait fonksiyonelliğe sahiptir ve serebral korteksin spesifik bir bölgesine projekte olan veya oradan gelen liflere sahiptir. Talamus serebral kortekse ulaşan bilgilerin iletim istasyonudur. Bir nevi serebral kortekse giriş kapısıdır. Bütün duyarlar ve vücudun tüm parçalarından gelen afferent uyarılar talamusta birleşirler ve nukleusların en az birisiyle sinaps yaparlar. Burada bilgiler çözümlenip düzenlenmektedir.

Hareketlerin ve kas tonusunun kontrolü, bir dizi serebral ve spinal nöron topluluğunun yapısal aktivitesine dayanır. Hareketleri ve kas tonusunu kontrol eden bu karmaşık işlevsel sistemdeki merkezi yapılardan birinin, talamusun ventrolateral çekirdeği olduğu bilinmektedir. Bu çekirdek motor korteksin yolundaki cerebellar, striato-pallidal, nigral ve vestibüler projeksiyonların toplayıcısı ve entegratörüdür.

Bazal ganglionlar

Serebral korteksin tabanında bulunan bazal ganglionlar serebral korteksin çoğu alanından bilgiyi alır ve kendi içindeki devrelerde işlediği bilgiyi çıktı olarak tekrar talamus aracılığıyla motor kortekse iletir. Cerebellumun lateral hemisferi ile beraber istemli motor hareketin planlanması, başlatılması ve ardışık hareketlerin belirli bir düzende başarılmasında görev alır.

Vestibüler sistem

Vestibüler sistem başın boşlukta pozisyonu ve başın hareket yönündeki ani değişikliklerine karşı hassastır. Vestibüler girdi ayakta duruş ve yürüme sırasında bakış fiksasyonu ve postural stabiliteyi sağlamaya yardım ederek birçok motor yanıtın koordinasyonunda oldukça önemli rol oynar.

Motor korteks

Motor korteks primer motor korteks, premotor korteks ve suplementer alan olarak üç bölümde incelenir. Primer motor korteksin sinyalleri kortikospinal yol aracılığıyla periferik iletilmektedir. Ayrıca, buradan çıkan impulslar alfa motor nöronları uyarırken, alfa-gama ko-aktivasyonu sayesinde gama motor nöronları da polisinpaptik bağlantılarla uyarılmış olur.

Bir hareketin gücü ve hızı primer motor korteks tarafından kontrol edilmektedir ve bunu ayarlayan impulslar spinal korda kortikospinal yol aracılığıyla iletilir. Kortikospinal yolu temel olarak motor nöronlar oluştururken, somatosensöriyel kortekse ait nöronal bağlantılar da bu yapıya katılır.

Ayrıca premotor korteksten başlayan lifler ekstrapiramidal sistemi oluşturarak bazal ganglionlara, primer motor kortekse ve beyin sapına uğrar. Premotor korteks böylece, ekstrapiramidal projeksiyonlar aracılığıyla istemli bir harekete temel olacak postural tonusu ve pozisyonları hazırlamış olur. Postural tonus, daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi vücudu yerçekimine karşı dik tutarak motor harekete katkıda bulunur.

KAYNAKLAR

1. Bağırıcı F (2017), Motor Sistem, Tıbbi Fizyoloji; Klinik Tıbbın Temelleri, Ağar E, İstanbul Tıp Kitabevi, 91-107
2. Balcı B, Tomruk M, Göz E, Aktar B (2018), Normal Postural Kontrol, Motor Kontrol; Araştırmanın Klinik Uygulamaya Aktarılması, Gündüz AG, Bilgin S, Öksüz Ç, Ertekin Ö, İyigün G, Hipokrat Kitabevi, 158-161
3. Fil A, Salcı Y, Armutlu K (2016), Spastisite ve Yönetimi; Fizyoterapi Rehabilitasyon, Karaduman A, Yılmaz ÖT, Pelikan Kitabevi, 195-197
4. Güzel NA, Tuna Z (2018), Motor Kontrolün Fizyolojisi, Motor Kontrol; Araştırmanın Klinik Uygulamaya Aktarılması, Gündüz AG, Bilgin S, Öksüz Ç, Ertekin Ö, İyigün G, Hipokrat Kitabevi, 44-79
5. Kandel E.R, Schwartz J H, Jessell TM, Siegelbaum SA, Hudspeth AJ (2000), Principles of neural science. Fifth Ed. McGraw- Hill Companies, 475-495
6. Lukhanina EP (1995), Role of the ventrolateral nucleus of the thalamus in extrapyramidal motor pathology. Neurophysiology, 27(4), 243-253.
7. Pınar L (2018), Sinir Sistemi ve Kas Fizyolojisi Temel Bilgileri, Akademisyen Kitabevi, 151-226
8. Tatar İ, Urfalı B (2017), Periferik Sinir Sistemi ve Refleks Aktivite, Anatomi ve Fizyoloji, Tatar İ, Nobel Kitabevi, 431-502