

Bölüm 13: Destek ve Hareket Sistemi - Kas Fizyolojisi

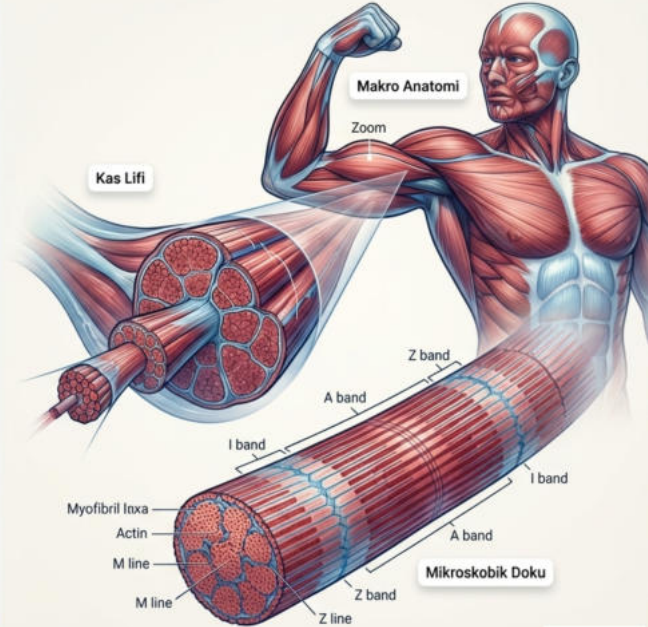
Mikrodan Makroya: Moleküler Bir Makine Olarak İskelet Kası

- Bu sunumda, çizgili kasların (ve kalp kasının) çalışma prensiplerine moleküler düzeyde odaklanacağız.
- Kas çeşitlerini takiben, bir iskelet kasının içine mikroskopla bakarak, Nobel ödüllü bilim insanı Huxley'in açıkladığı "Kayan İplikler Modeli"ni inceleyeceğiz.
- Kaslarımızı basit bir et parçası değil, moleküler bir makine gibi ele alarak nasıl kasılıp gevşediklerini, enerjiyi nasıl ürettiklerini ve "kramp" gibi durumların neden oluştuğunu öğreneceğiz.

⚠ **Önemli Vurgu:** Amaç: Kasların sadece fiziksel değil, kimyasal ve enerji süreçlerini de tam olarak kavramaktır.

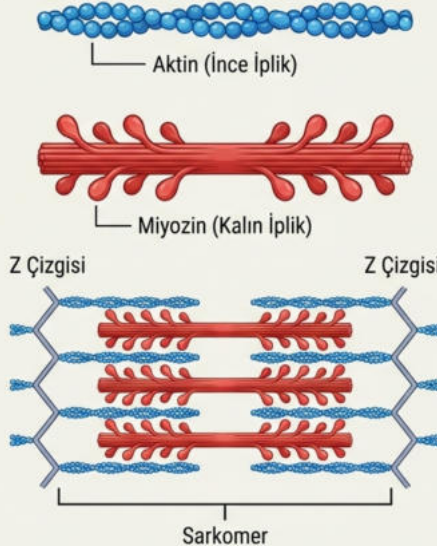
💡 **Günlük Hayat Örneği:** Bir arabanın dışarıdan nasıl gittiğini görmek yetmez; kaputu açıp motorun pistonlarının (aktin-miyozin) nasıl hareket ettiğini anlamaya çalışacağız.

Mikrodan Makroya Bakış



Miyofibrillerin Ultrastrüktürel Yapısı ve Sarkomer

- Çizgili kaslarda ve kalp kasında mikroskop altında görülen o karakteristik 'bantlı' yapının temel sebebi, protein iplikçiklerin (Miyofibril) çok düzenli bir şekilde dizilmesidir.
- Bu yapıda iki temel iplikçik türü bulunur:
 1. **Aktin:** İnce yapılı protein iplikleridir.
 2. **Miyozin:** Kalın yapılı protein iplikleridir. Miyozinlerin baş kısımları vardır ve bu başlar adeta bir kürek gibi çalışarak aktini çeker.



- Bu ipliklerin bir araya gelerek oluşturduğu en küçük kasılma birimine SARKOMER adı verilir. Sarkomer, iki Z Çizgisi arasında kalan bölgedir.

⚠️ Önemli Vurgu:

Tanım: Sarkomer = Kasın Birimi. (iki Z çizgisi arası).

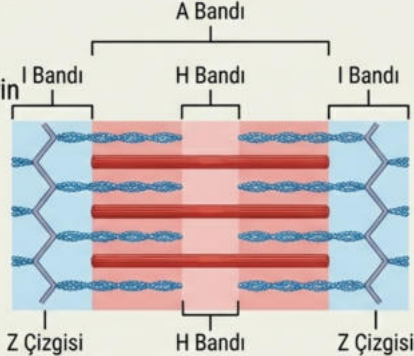
💡 Günlük Hayat Örneği:

Sarkomeri bir vagon gibi düşünebilirsiniz. Tren (kas lifi) peş peşe dizilmiş vagonlardan (sarkomerlerden)

Sarkomerin Bantlaşma Haritası ve Bölgeler

- Bir sarkomere baktığımızda proteinlerin diziliminden kaynaklanan belirli bölgeler (bantlar) görürüz:

- **I Bandı:** Sadece ince olan Aktinlerin bulunduğu, mikroskopta açık renkli görünen bölgedir. Tam ortasında Z çizgisi bulunur.
- **A Bandı:** Miyozinlerin boyu kadar olan koyu renkli bölgedir. Bu bölgenin içinde hem miyozinler hem de aktinlerin bir kısmı iç içe geçmiştir.
- **H Bandı:** A bandının tam ortasında yer alan, sadece Miyozinlerin bulunduğu (aktinlerin uzanmadığı) daha açık renkli bölgedir (uzanmadığı) daha açık renkli bölgedir.
- **Z Çizgisi:** Sarkomerin sağ ve sol sınırlarıdır. Aktin ipliklerinin bağlandığı "duvarlar" olarak kabul edilir.



! Önemli Vurgu:

Dikkat: A Bandı = Miyozin Boyu. Bu eşitliği unutma, çünkü kasılma sırasında çok işine yarayacak.

! Önemli Vurgu:

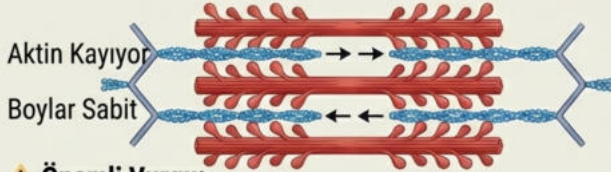
Dikkat: A Bandı = Miyozin Boyu. eşitliği unutma, çünkü kasılma sırasında çok işine yarayacak.

💡 Günlük Hayat Örneği:

Bu haritayı okumak, bir barkod okumak gibidir. Koyu çizgiler kalın miyozinleri, açık yerler ince aktinleri temsil eder.

Huxley'in Kayan İplikler Modeli: Mekanik Prensiptir

- Huxley, kasların çalışmasını açıklarken devrim niteliğinde bir tespitte bulunmuştur: "Kas kasılırken proteinlerin (aktin ve miyozin) boyu fiziksel olarak kısalmaz, bunlar birbirinin üzerinden kayar."
- Bu modele göre kasılma olayı, proteinlerin boyunun küçülmesi değil, iç içe geçmesidir.
- **Kasılma Sırasında (Kas Kısalırken):**
 - Aktin iplikleri, Miyozinlerin arasına doğru kaymaya başlar.
 - Bu kayma hareketi sonucunda Sarkomerin sınırları olan Z çizgileri birbirine yaklaşır.



! **Önemli Vurgu:**

Kritik Bilgi: Aktin ve Miyozin ipliklerinin kendi boyları ASLA DEĞİŞMEZ. Sadece konumları değişir.



İç İçe Geçme Prensiptir

💡 **Günlük Hayat Örneği:**

İç içe geçen teleskopik bir anteni düşünün. Anteni kapattığınızda metal parçaların boyu kısalmaz, sadece birbirinin

Kasılma Sırasında Değişen Parametreler

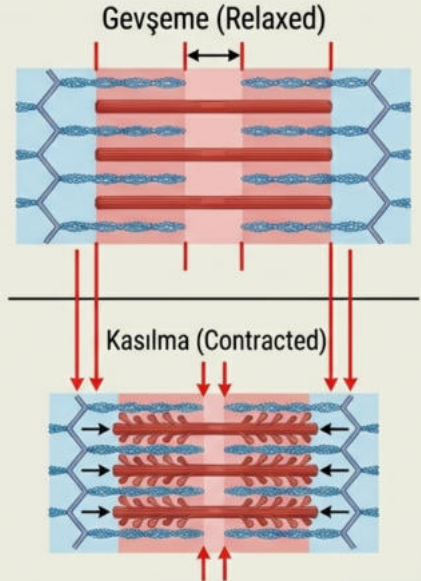
- Kasılma gerçekleştiğinde, aktinler merkeze doğru kaydığı için sarkomerin geometrisi değişir:
 - **Z Çizgileri:** Birbirine YAKLAŞIR. (Sarkomer boyu kısalır).
 - **I Bandı:** Aktinlerin miyozin içine girmesiyle DARALIR.
- **H Bandı:** Aktinler merkeze doğru ilerlediği için DARALIR ve tam kasılma anında aktinler ortada buluşursa KAYBOLUR.

! Önemli Vurgu:

H-I-Z Kodlaması: Kasılma sırasında H bandı, I bandı ve Z (Sarkomer boyu) azalır. (HIZ azalır şeklinde kodlayabilirsin).

💡 Günlük Hayat Örneği:

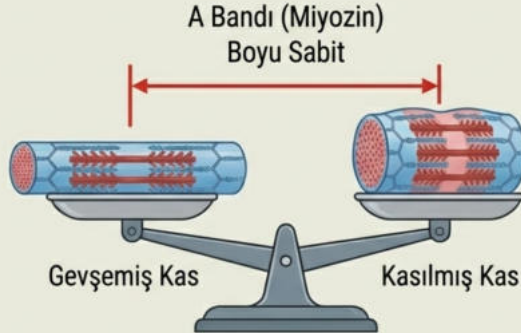
İki duvarı (Z çizgileri) birbirine ipe çektiğini düşün. Ortadaki boşluk (H bandı) kapanır ve duvarlar arasındaki mesafe kısalır.



Kasılma Sırasında Değişmeyen Sabitler

- Kayan İplikler Modelinde her şey değişmez, bazı büyüklükler korunur:
 - **A Bandı: DEĞİŞMEZ!** Çünkü A bandı miyozinin boyuna eşittir ve miyozinin boyu kasılma sırasında değişmez.
 - **Aktin ve Miyozin Boyu: DEĞİŞMEZ!** İplikçikler sadece yer değiştirir.
 - **Kasın Hacmi ve Kütlesi: DEĞİŞMEZ!** Kasın boyu kısılırken eni şişer (kalınlaşır), böylece toplam hacim sabit kalır.

⚠ **Önemli Vurgu:**
Unutmaz:
Unutma: A Bandı ve Hacim asla değişmez.
Sorularda en çok düşülen tuzak budur.



Boy x En = Sabit Hacim

💡 **Günlük Hayat Örneği:**
Bir hamur parçasını elinle bastırıp boyunu kısalttığında yanlara doğru şişer, ama elindeki hamur miktarı (kütlesi/hacmi) aynı kalır.

Gevşeme Süreci ve Bantların Durumu

Gevşeme sırasında olaylar kasılmanın tam tersi istikamette ilerler:

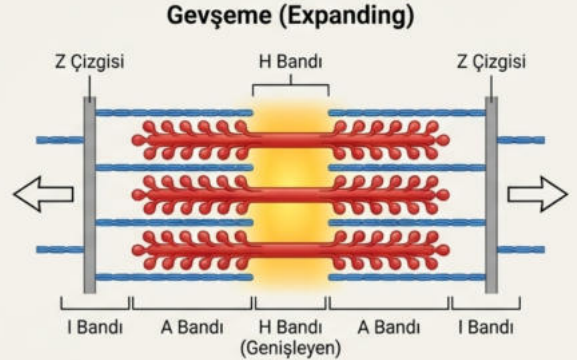
- **Z Çizgileri:** Birbirinden uzaklaşır.
- **I Bandı:** Tekrar genişler.
- **H Bandı:** Tekrar ortaya çıkar ve görünür hale gelir.
- **A Bandı:** Yine DEĞİŞMEZ. Bu süreçte aktin iplikleri, miyozinlerin arasından çıkarak eski konumlarına geri dönerler.

⚠️ Önemli Vurgu:

Püf Noktası: Gevşeme pasif bir bırakma işlemi değildir, enerji gerektirir (Detaylar kimyasal işleyişte verilecektir).

💡 Günlük Hayat Örneği:

Gerilmiş bir yayı serbest bırakmak veya iç içe geçmiş o teleskopik anteni tekrar açmak gibidir.



Kasılmanın Kimyasal İşleyişi - Bölüm I: Uyarı ve İletim

Bir kasın kasılması için beynin 'Kasıl' emrini vermesi yetmez, bu emrin kimyasal bir kurye ile hücreye girmesi gerekir. Sıralama şöyledir:

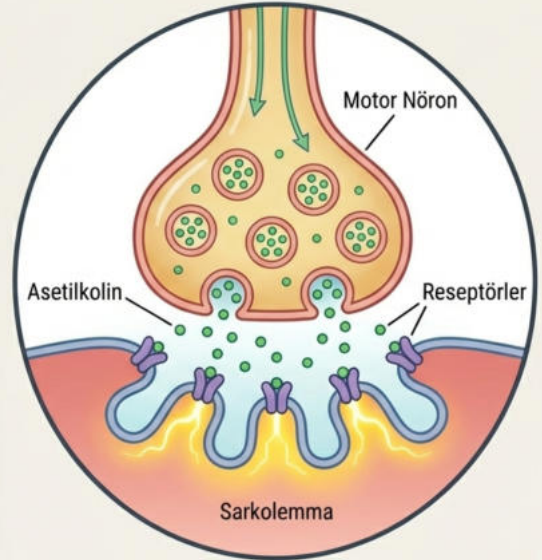
1. **Emir Gelir:** Motor nöronun akson ucu kas hücrene değer. Bu temas noktasına **Motor Uç Plak** denir.
2. **Asetilkolin Salgısı:** Sinir ucundan sinaptik boşluğa Asetilkolin adı verilen nörotransmitter madde salgılanır.
3. **Depolarizasyon:** Asetilkolin, kas hücresinin zarına (Sarkolemma) bağlanır ve zarı uyarır. Böylece elektrik sinyali tüm kas hücrene yayılır.

⚠️ Önemli Vurgu:

Sıralama Sorusu: Sınavlarda bu olayların oluş sırası sıkça sorulur. Önce Nöron -> Sonra Asetilkolin -> Sonra Kas Zarı.

💡 Günlük Hayat Örneği:

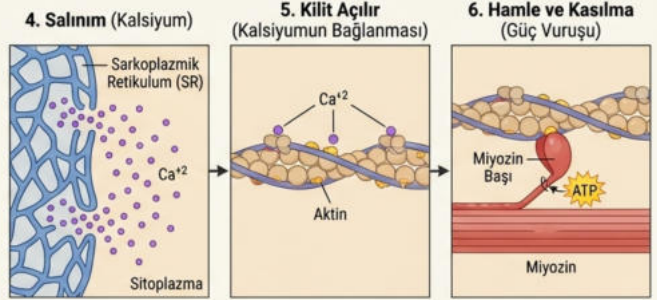
Bu aşama, kapı zilinın çalınması gibidir. Nöron zile basar (Asetilkolin), evin içinde elektrikler yanar (Depolarizasyon) ama kapı henüz açılmamıştır.



Kasılmanın Kimyasal İşleyişi - Bölüm II: Kalsiyum ve Hamle

Kas zarı boyunca yayılan elektrik sinyali, kasın derinliklerindeki olayları tetikler:

- 4. Kalsiyum (Ca^{+2}) Salınımı:** Elektrik sinyali, kasın içindeki Sarkoplazmik Retikulum (SR) depolarasını etkiler. Depolanan Ca^{+2} iyonları hızla sitoplazmaya fırlatır.
- 5. Kilit Açılır:** Sitoplazmaya dağılan Ca^{+2} iyonları gider, aktin üzerindeki özel bölgelere bağlanır ve kilitleri açar.
- 6. Hamle ve Kasılma:** Miyozin başları, açığa çıkan aktin bölgelerine tutunur. Harcanan ATP enerjisiyle aktini kendine (merkeze) doğru çeker. **KASILMA GERÇEKLEŞİR.**



⚠️ Önemli Vurgu:

Rol: Kalsiyum (Ca^{+2}) iyonu, kasılmayı başlatan anahtardır. O olmadan kilitler açılmaz ve miyozin aktini tutamaz.

💡 Günlük Hayat Örneği:

Kalsiyum, güvenlik kilidini açan anahtardır. Kilit açılınca (Ca bağlanınca), kapı kolu (Miyozin başı) kapıyı (Aktini) çekip açabilir.

Gevşeme Mekanizması ve Ölüm Katılığı

• Gevşeme Nasıl Olur?

- Kasılma bittiğinde, sitoplazmada serbest gezen Ca^{+2} iyonları, ATP harcanarak (Aktif Taşıma ile) tekrar Sarkoplazmik Retikulumun içine pompalanır.
- Kalsiyum ortamdan çekilince, aktin üzerindeki kilitler tekrar kapanır ve kas gevşer.

• Ölüm Katılığı (Rigor Mortis):

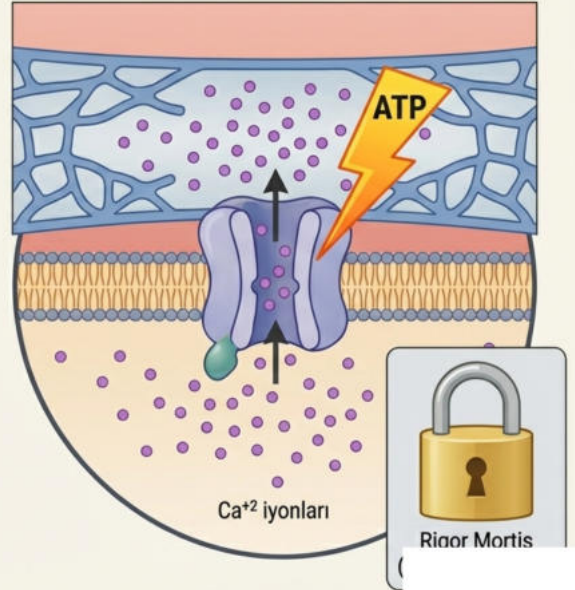
- Ölen bir canlıda solunum ve ATP üretimi durur.
- ATP olmadığı için kalsiyumlar geri (depoya) toplanamaz ve aktin-miyozin birbirinden ayrılamaz.
- Sonuç olarak kaslar kasılı (kilitli) kalır.

⚠️ Önemli Vurgu:

Dikkat: Hem KASILMAK için hem de GEVŞEMEK için ATP HARCANIR. Gevşerken ATP harcanmasının sebebi, Kalsiyumların zorla depoya geri sokulmasıdır.

💡 Günlük Hayat Örneği:

Bir odayı dağıtmak kolaydır, ama odayı toplamak enerji gerektirir. Ölümler enerji üretilmediği için 'odayı toplayamazlar' ve kasılı kalırlar.



Kas Enerjisinin Sağlanması: İlk Kaynaklar

Kaslarımız enerjiye çok açtır ve "Hemen şimdi enerji lazım" dediğinde sırasıyla şu kaynakları kullanır:

1. **Mevcut ATP:** Sitoplazmada hali hazırda bekleyen az miktarda ATP kullanılır. Bu miktar sadece 1-2 saniye yeterlidir.
2. **Kreatin Fosfat:** Kasa özgü "yedek batarya"dır.
 - Denklem: **Kreatin Fosfat + ADP → Kreatin + ATP**
 - Bu tepkime sayesinde çok hızlı ATP üretilir. Dinlenme anında ise bu süreç tam tersine döner ve Kreatin Fosfat deposu (batarya) tekrar doldurulur.



Önemli Vurgu: Sadece Kas Hücresinde: Kreatin Fosfat sadece kas hücrelerinde üretilir ve tüketilir. Kanda Kreatin Fosfat gezmez! (Kanda böbrekle atılacak olan 'Kreatin' gezer).



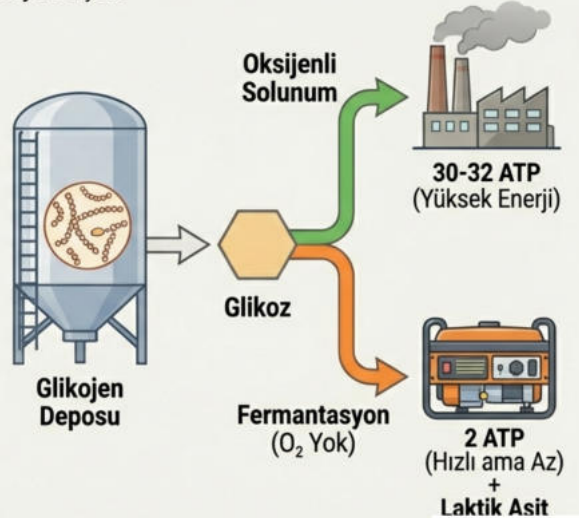
Günlük Hayat Örneği: Mevcut ATP cebindeki bozuk paradır (hemen biter). Kreatin Fosfat ise cümlü banka kartıdır (hızlıca paraya/ATP'ye çevire

Kas Enerjisinin Sağlanması: Sürdürülebilir Kaynaklar

Hazır kaynaklar tükendiğinde kaslar asıl depoları kullanmaya başlar:

3. **Glikojen (Glikoz):** Kaslarda depo edilen glikojen parçalanarak glikoza çevrilir. Elde edilen glikoz iki yolla yakılır:

- **Oksijenli Solunum:** Glikoz oksijenle yakılır. Bu işlem çok fazla ATP verir ve uzun süreli enerji sağlar.
- **Laktik Asit Fermantasyonu:** Oksijen yetersiz kalırsa başvurulur. Az enerji verir ama çok hızlıdır. Yan ürün olarak Laktik Asit oluşur, bu da yorgunluk hissi yaratır.



Önemli Vurgu: Kalp Kası Farkı: Laktik asit fermantasyonu sadece çizgili kaslarda (oksijen yetersizliğinde) olur. Kalp kası yorulmaz ve laktik asit üretmez.



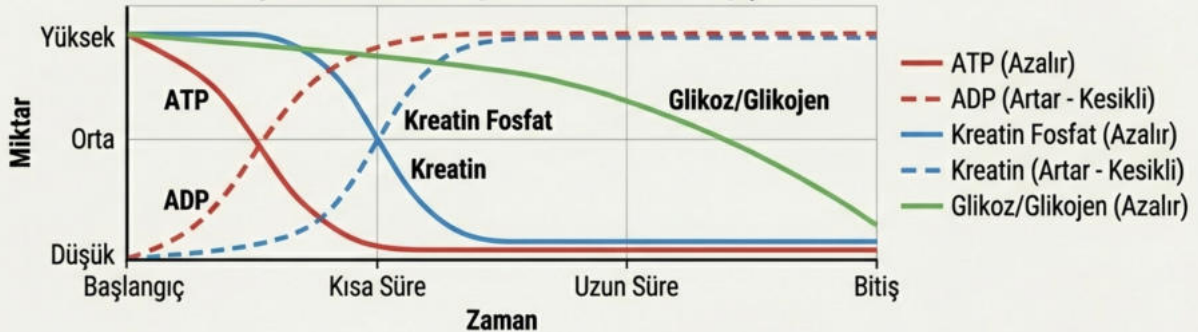
Günlük Hayat Örneği: Oksijenli solunum, kömürle çalışan güçlü bir fabrikadır (yavaş ama güçlü). Fermantasyon ise jeneratördür (acil durumlar için, zayıf ama hızlı).

Kullanım Sırası ve Egzersiz Grafiği

Egzersiz yapan bir bireyde enerji moleküllerinin azalma/artma sırası (Sıralama Sorusu) şöyledir:

1. Önce ATP azalır, ADP artar.
 2. Sonra Kreatin Fosfat azalır, Kreatin artar.
 3. En son Glikoz ve Glikojen azalır.
- Sistem her zaman en hızlı ulaşabileceği kaynağı ilk tüketir.

Enerji Moleküllerinin Egzersiz Süresince Değişimi



Önemli Vurgu: Grafik Okuma: Sorularda azalan eğriler sırasıyla: ATP -> Kreatin Fosfat -> Glikoz şeklindedir. Artan eğriler: ADP -> Kreatin -> Laktik Asit/CO₂ şeklindedir.

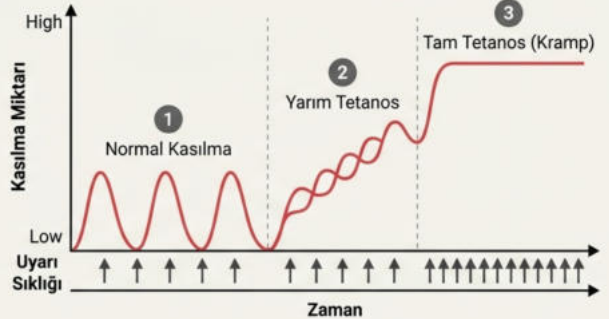


Günlük Hayat Örneği: Para harcama sırası: Önce elindeki nakit (ATP), sonra banka hesabın (Kreatin Fosfat), en son evdeki altınlar/yatırımlar (Glikojen).

Fizyolojik Tetanos (Kramp)

- Normal şartlarda kaslar 'Kasıl-Gevşe' döngüsüyle çalışır.
- Ancak bir kasa gevşemesine fırsat vermeden çok sık aralıklarla uyarı gönderilirse, kas gevşeyemez ve kasılı durumda kilitli kalır.
- Bu duruma **Fizyolojik Tetanos** veya halk arasındaki adıyla **Kramp** denir.
- **Grafik Yorumu:** Normal grafikte dalgalanmalar varken, tetanos durumunda kasılma eğrisi tepeye çıkar ve düz bir çizgi (plato) olarak devam eder.

Miyogram (Kas Kasılma Grafiği)



⚠️ Önemli Vurgu: Neden:
Kasın gevşeme evresini tamamlayamadan yeni bir uyarı almasıdır.

💡 Günlük Hayat Örneği: Birine "otur-kalk" komutu verdiğini düşün. Tam kalkarken tekrar "otur" dersen, ne oturabilir ne kalkabilir, arac

Bölüm Sonu Özeti ve Hoca Notları



✓ **A Bandı Değişmez:** Miyozinin boyu sabittir, kasılmada değişmez.



✓ **Hacim Değişmez:** Kas kısalır ama şişer, toplam madde değişmez.



✓ **Kalsiyum (Ca²⁺):** Sitoplazmaya dağılırsa KASILMA, SR'ye (depoya) toplanırsa GEVŞEME olur.



✓ **Kreatin Fosfat:** Sadece KAS HÜCRESİNDE bulunur, kanda gezmez.



✓ **Enerji Harcaması:** Kasılmak için de gevşemek için de ATP şarttır.



Önemli Vurgu: Bu slayttaki maddeler, konunun özü ve sınavlarda en çok sorulan 'çeldirici' noktalarıdır.



Günlük Hayat Örneği: Bu slayt, uzun bir yolculuğun sonunda çekilen 'hatıra fotoğrafı' gibidir. Anılar tek karede.