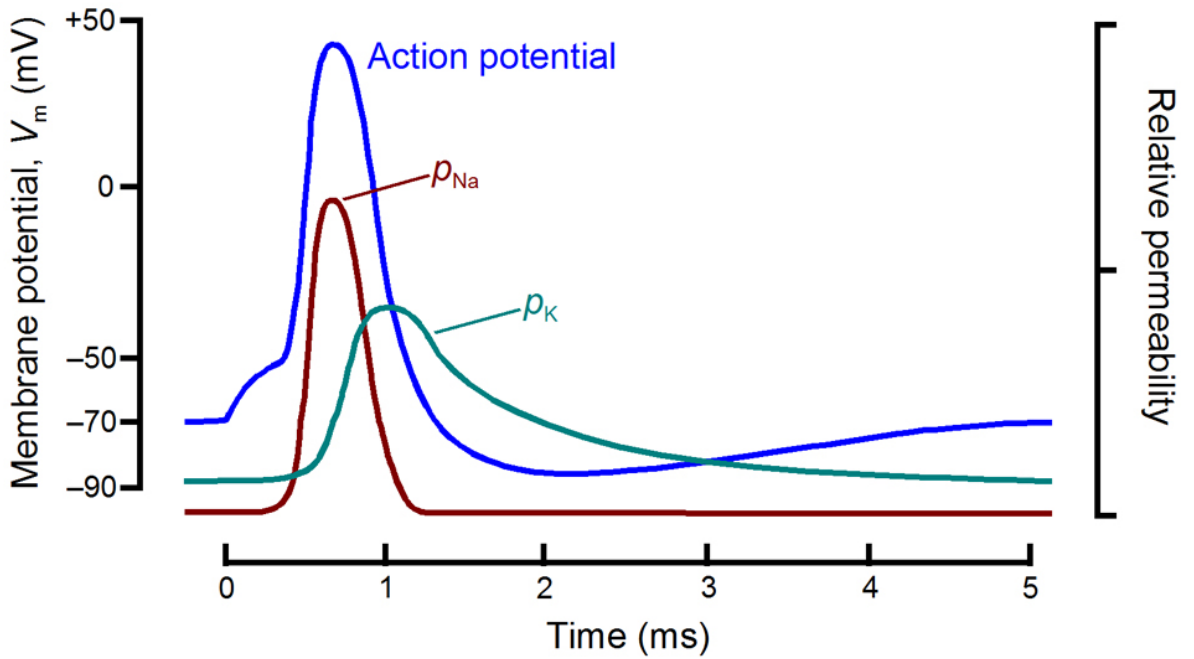
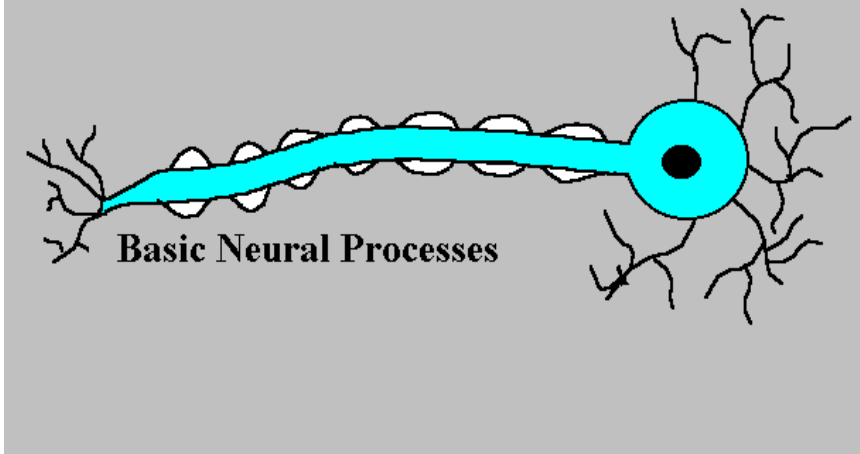


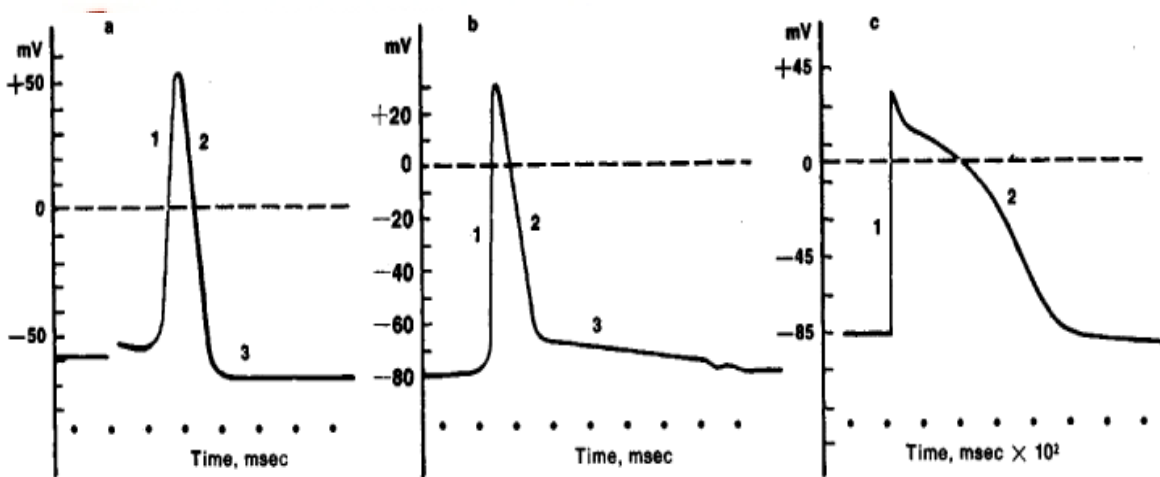
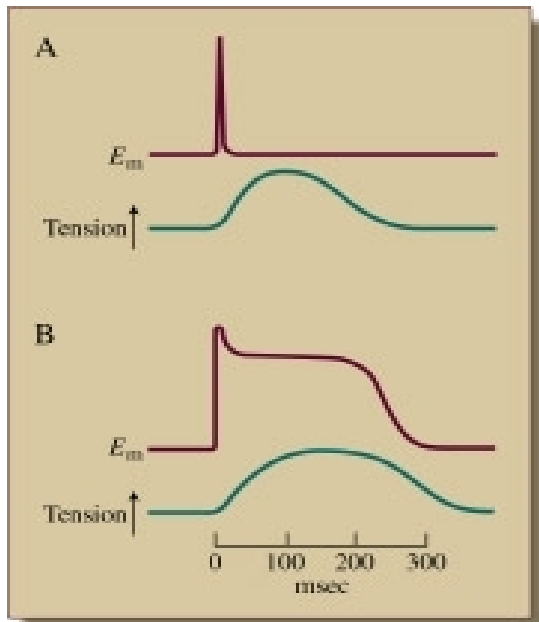
ÇEŞİTLİ HÜCRELERDEN AKSİYON POTANSİYELİ ÖRNEKLERİ

A-Sinir hücresi ve aksiyon potansileri: iyonik iletkenlikler



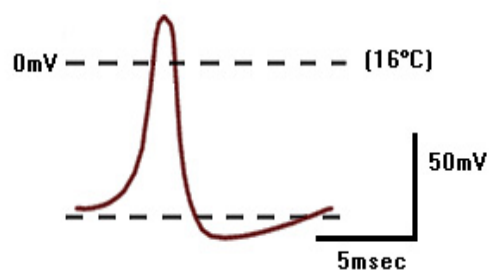
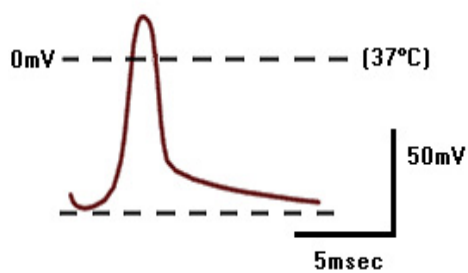
© PhysiologyWeb at www.physiologyweb.com

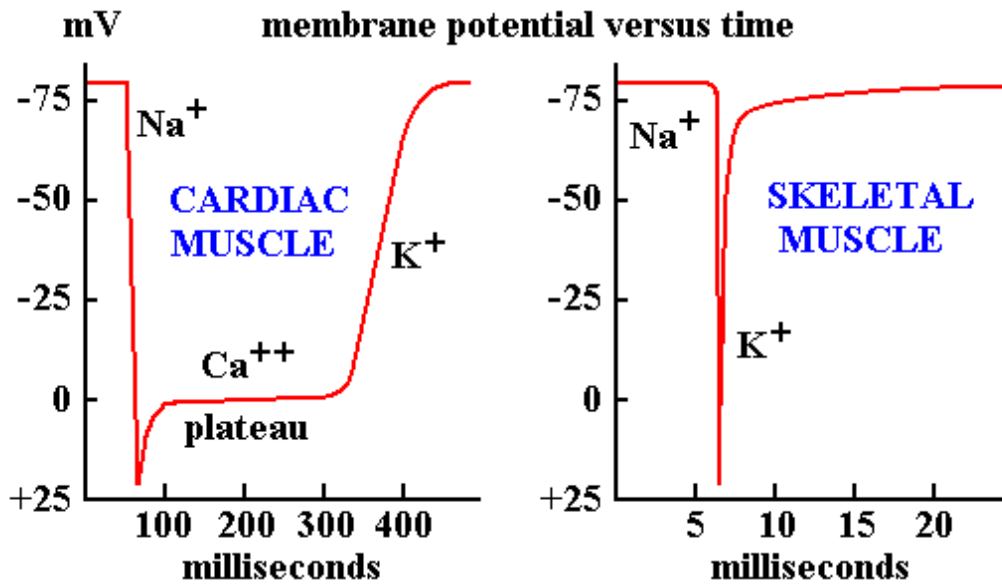
İskelet Kası lifi Aksiyon Potansiyeli (AP): genel özellikleri



Human skeletal muscle

Squid axon





Kasta Membran Permeabilitesi

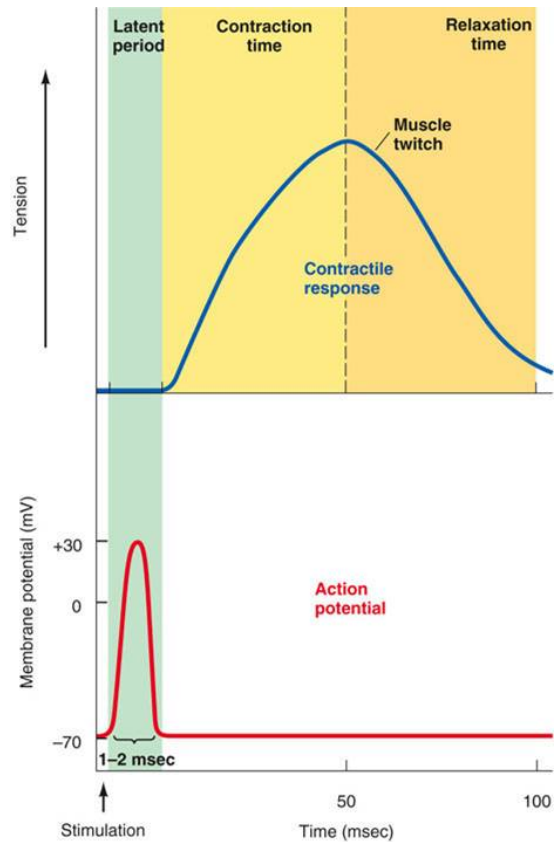
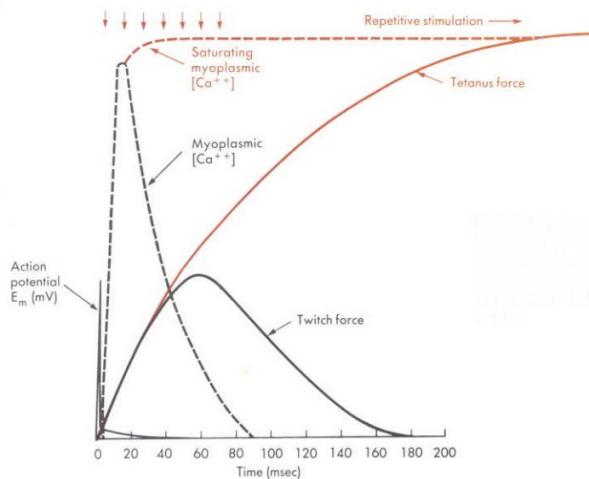
•Sinir

$$P_{\text{K}}/P_{\text{K}} : P_{\text{Cl}}/P_{\text{K}} : P_{\text{Na}}/P_{\text{K}} = 1 : 0.1 : 0.01$$

•Kas

$$P_{\text{K}}/P_{\text{K}} : P_{\text{Cl}}/P_{\text{K}} : P_{\text{Na}}/P_{\text{K}} = 1 : 10 : 0.01$$

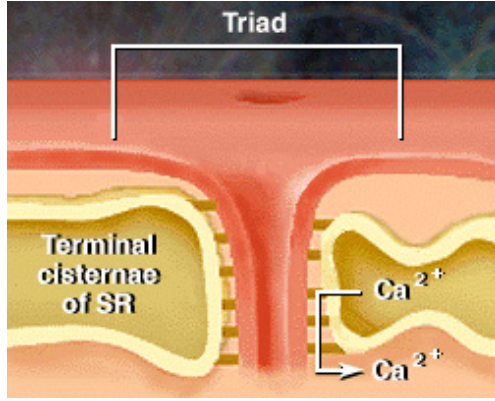
Cl permeabilitesinin yüksek olması membranin stabilizasyonunu ve ancak yeterli büyüklükte bir son plak potansiyelinin AP doğurmasını sağlar



The duration of the action potential is not drawn to scale but is exaggerated.

© 2007 Thomson Higher Education

Kasılmaya giden olaylar dizisi



Bir α -motoneuronda başlayan bir aksiyon potansiyeli (AP) motoneuron terminallerine yayılır ve sinaptik aralığa acetylcholine salar

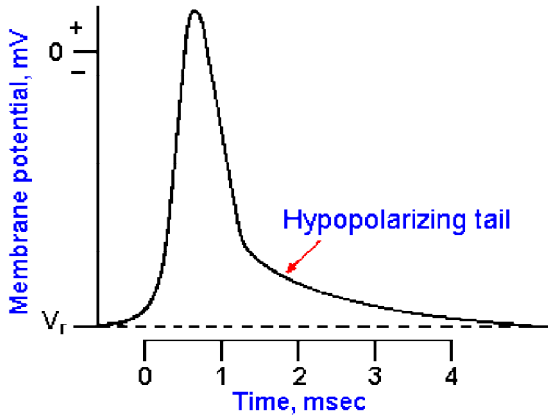
- Acetylcholine kasta bir end-plate potential başlatır ki, normal kasta, bu potansiyel daima bir AP oluşturur

- Kas AP (spike) sinirdekine çok benzer fakat uzun süren bir depolarize (hipopolarize) edici ard potansiyel olmasından dolayı AP süresi uzundur

- Memeli çizgili kasında spike oluşum mekanizması nerve için açıklanmış olan ile aynıdır

- Kas AP (spike) sinirdekine çok benzer fakat uzun süren bir depolarize (hipopolarize) edici ard potansiyel olmasından dolayı AP süresi uzundur

- Memeli çizgili kasında spike oluşum mekanizması nerve için açıklanmış olan ile aynıdır



T tübüler sistem kas uzunluğu boyunca ve derinliklerinde

sarkomerlerin kontraksiyonunun senkronizasyonu sağlar Memeli kaslarında sıklıkla her bir kas lifinde sadece bir sinir-kas kavşağı vardır. Eğer lifin merkezine ulaşmak için hypopolarizasyon olmasa idi, yüzeydeki miyofibriller merkezdekilerden önce kasılacaklardı.

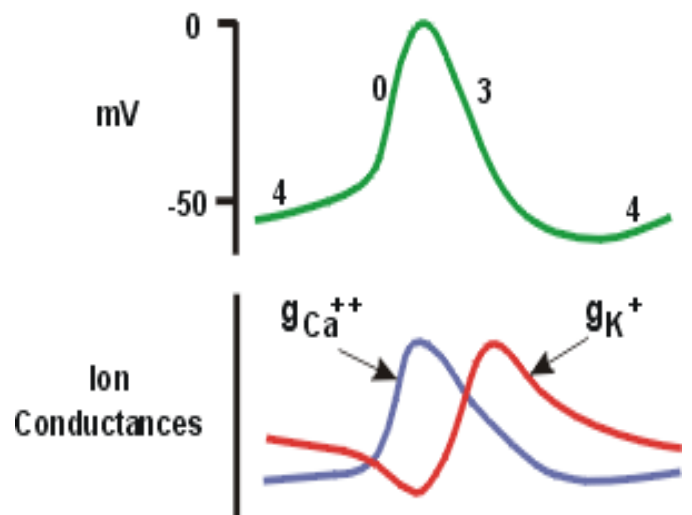
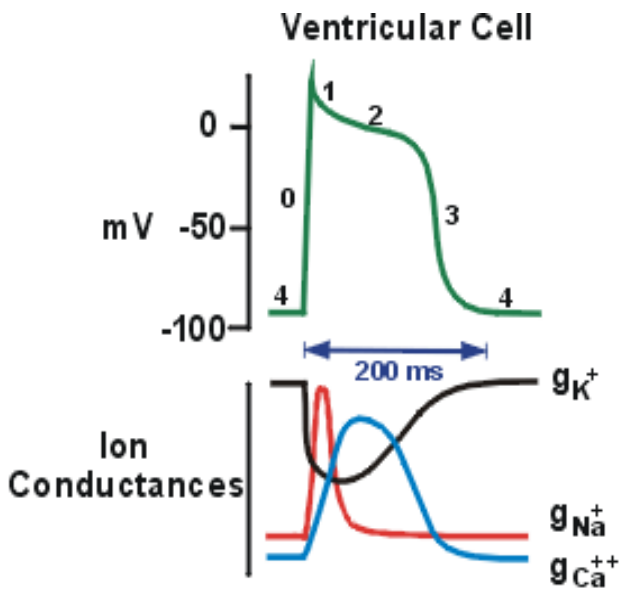
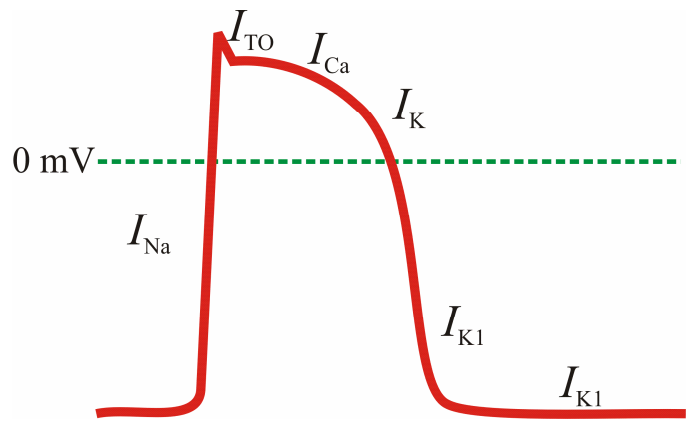
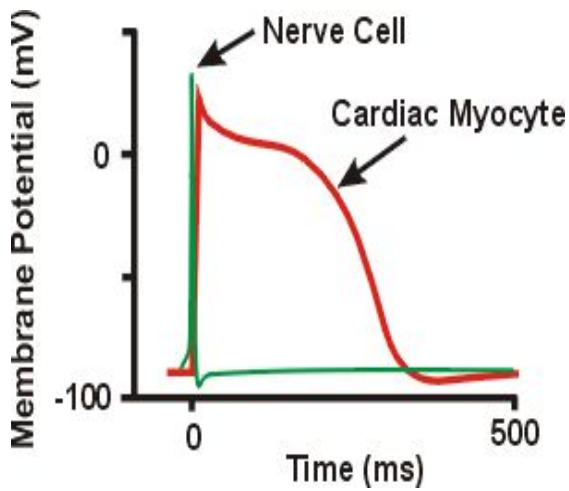
Table 7-1 The Distribution of Some Ion Transport Sites over the Sarcolemma and Tubular System of Vertebrate Skeletal Muscle¹

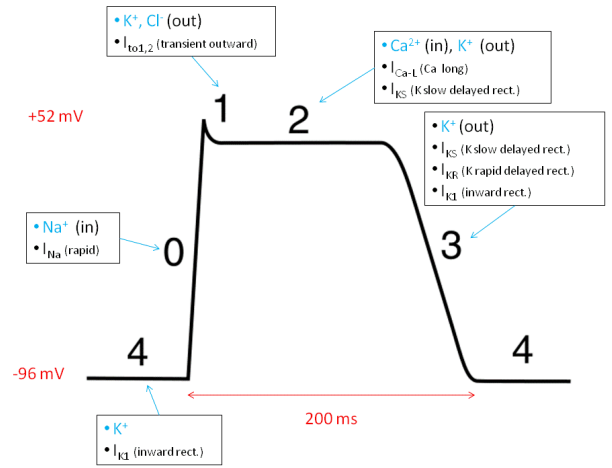
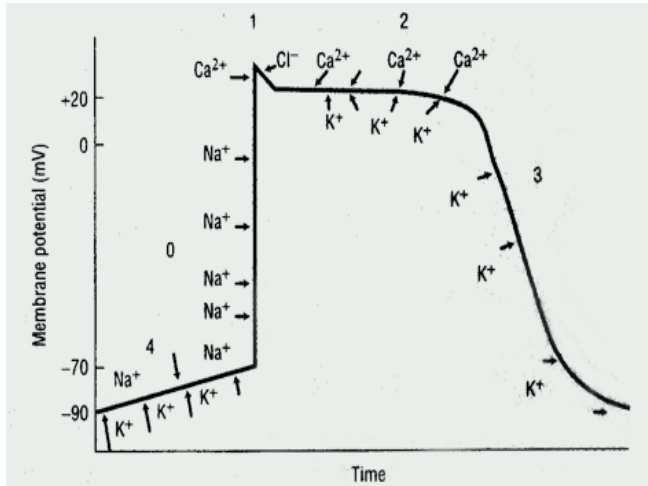
Transport Site	Role	Density in Tubules
Na channel	Action potential	0.7
Depolarization-activated K channel	Action potential	0.3
Cl channel (rat ²)	Resting potential	1
Inward rectifier K channel	Resting potential	1
Ca channel	Ca influx	>4
Na ⁺ -K ⁺ pump	Na/K gradients	0.15

¹After Almers & Stirling, *J. Membrane Biol.* 77:169-186, 1984.

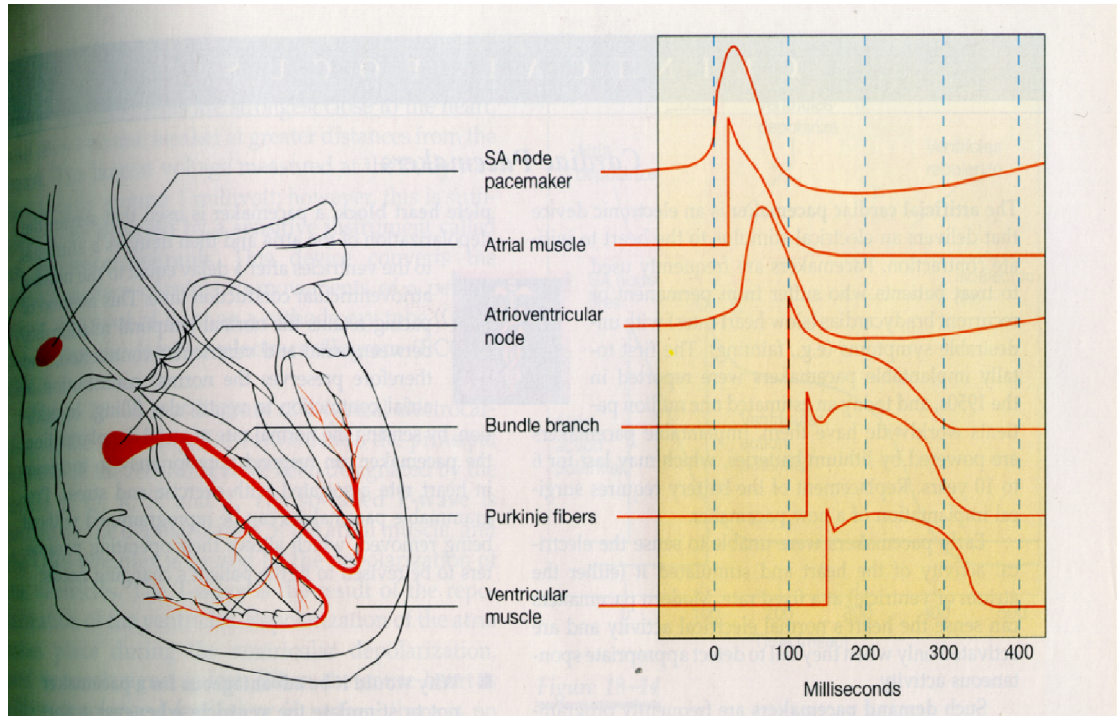
²In frogs, Cl channels are reported to reside mainly in the sarcolemma.¹¹

Kalp kası Aksiyon Potansiyelleri



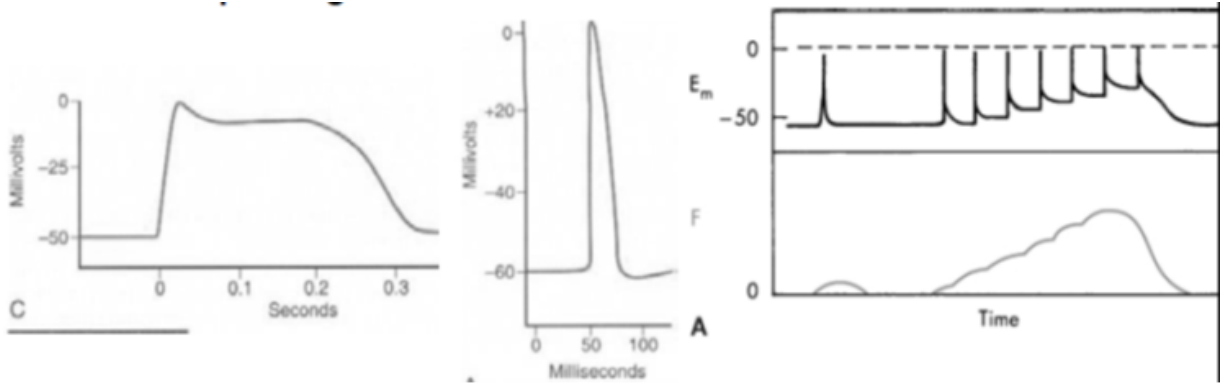


Bir Kalp Atımında Bölgesel Olarak Aksiyon Potansiyelleri

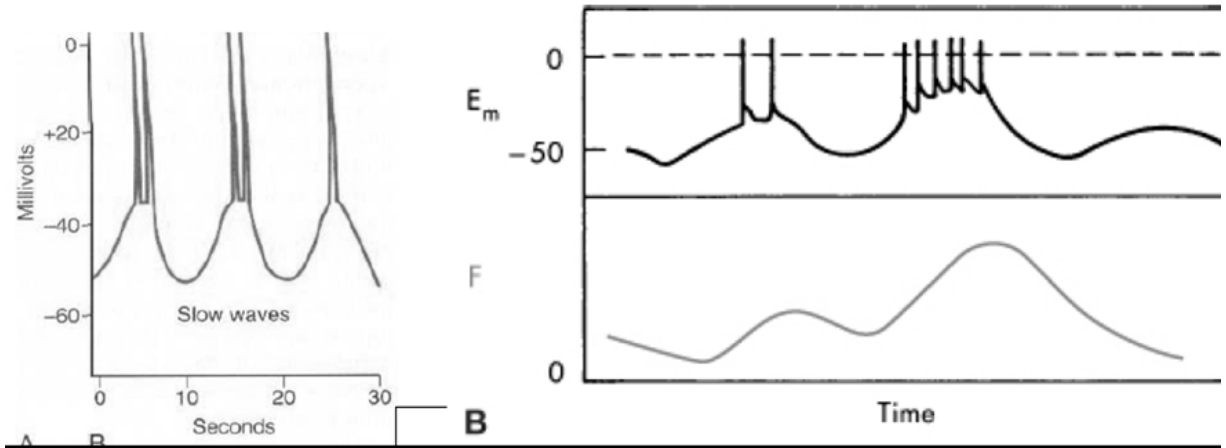


Düz kaslarda Aksiyon Potansiyelleri

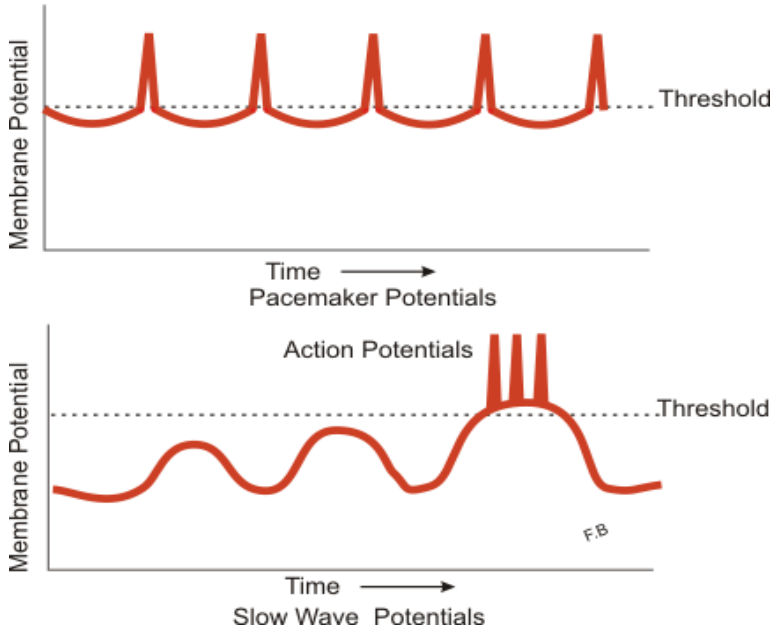
- Dinlenimde, düz kas aksiyon potansiyeli -60 ile -40 mV arasında değişir ki bu iskelet kasınıninkine göre 30 mV daha az negatifliği gösterir
- Aksiyon potansiyeli iskelet kasındaki benzer şekilde daha çok single-unit düz kaslarda olur, fakat bu multi-unit düz kaslarda nadiren olur
- Single-unit düz kasların aksiyon potansiyelleri ya spike şeklinde ya da platolu aksiyon potansiyeli şeklindedir. Spike şeklindeki aksiyon potansiyelleri elektriksel uyarı, hormaonlar, nörotransmitterler, gerim veya spontan olarak oluşturulmaktadır Plato saniyeler içinde sonlanır ve uzun kasılmalardan sorumludur



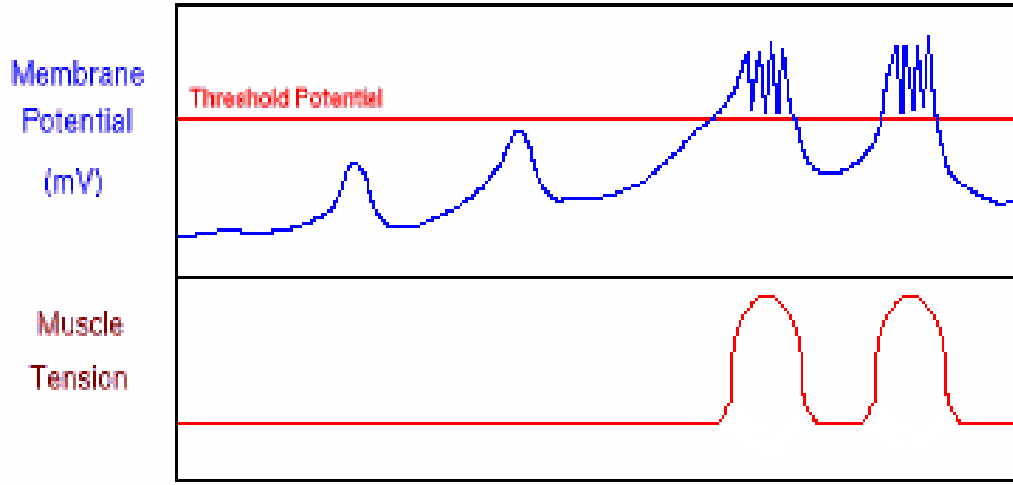
Düz kaslarda Spontan Aksiyon Potansiyelleri: Yavaş dalgalar



- dış elektriksel uyarı olmadan kendi kendine elektriksel uyarı oluşturarak aksiyon potansiyeli oluşturabilmektedir, bu depolarizasyonun slow wave ritmi ile ilişkilidir.
- Bu slow wave bir aksiyon potansiyeli değildir, süz kas kütesinin bir intrinsic özelliğidir. Yaklaşık -35 mV luk bir threshold potansiyelde, aksiyon potansiyeli üretilir
- Slow wave potansiyelinin nedeni tam olarak bilinmemesine rağmen öneri Na/K pompa aktivitesindeki osilasyonlardan kaynaklandığı şeklindedir



Düz kaslarda Aksiyon Potansiyeli ve kasılma aktivitesinin gelişimi



Aksiyon Potansiyeli olmaksızın bir Multi-unit düz kasta Depolarizasyon

- Bir multi-unit düz kas bir nörotransmitter aracılığı ile depolarize

olduğu ve kasıldığı zaman aksiyon potansiyeli gelişmez. Nedeni ise

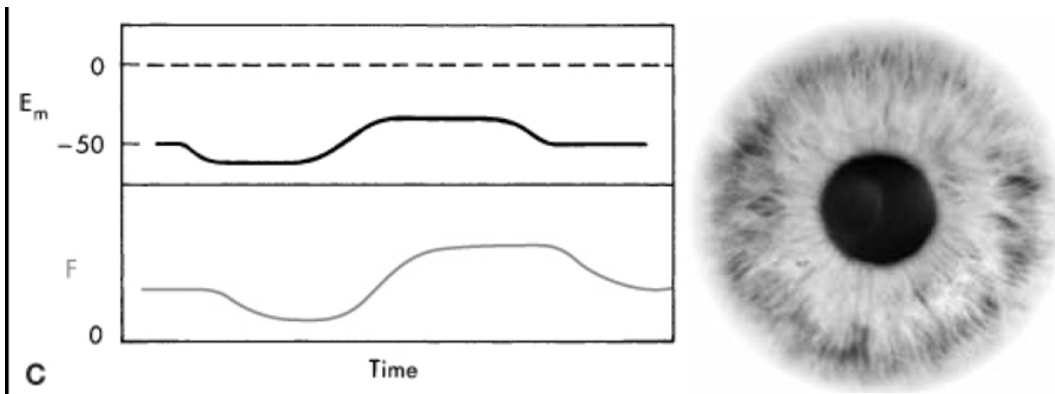
tüm unite içindeki tek bir lif kendi kendine yayılan bir aksiyon

potansiyeli oluşturmak için çok küçüktür

- Düz kas hücresinin yüzeyinde nörotransmitterin kendisi hızlı

- yayılan bir depolarizasyona neden olur, bu da membranda ve SR da

bulunan iyonik iletkenlikleri değiştirir



AKSIYON POTANSİYELİ İLETİMİ VE ETKİLİ FAKTÖRLER

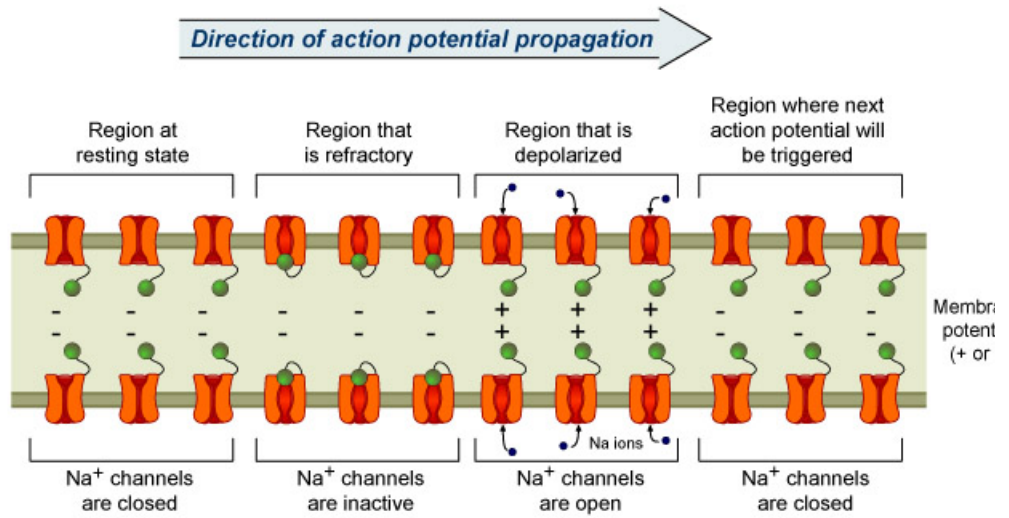
GOLDMAN-HODGKIN-KATZ BAGINTISI

$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{P_{Na}[Na^+]^{dis} + P_K [K^+]^{dis} + P_{Cl} [Cl^-]^{ic}}{P_{Na}[Na^+]^{ic} + P_K [K^+]^{ic} + P_{Cl} [Cl^-]^{dis}} \right)$$

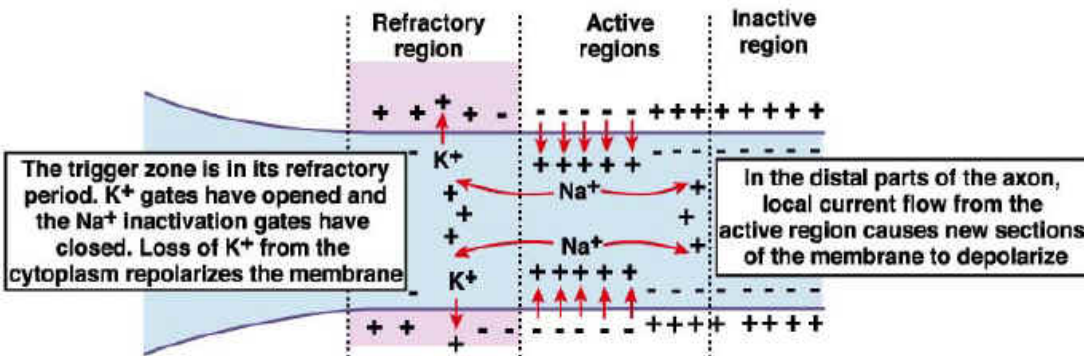
HODGKIN-HUXLEY AKSIYON POTANSİYELİ YAYILMA BAGINTISI

$$\left(\frac{a}{2} \rho_i v^2\right) \frac{d^2 E_m}{dt^2} = m^3 h g_{Na} (E_m - E_{Na}) + n^4 g_K (E_m - E_K) + g_L (E_m - E_L) + C \frac{\partial E_m}{\partial t}$$

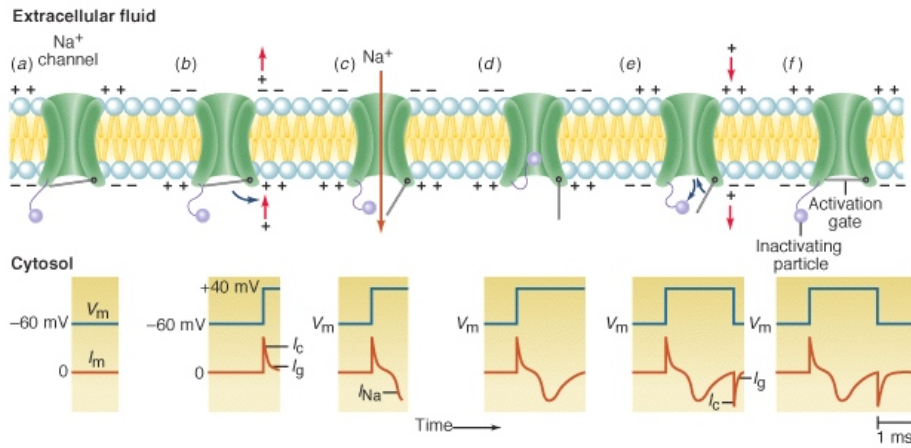
Propagation of an Action Potential Along an Axon



Dept. Biol. Penn State U



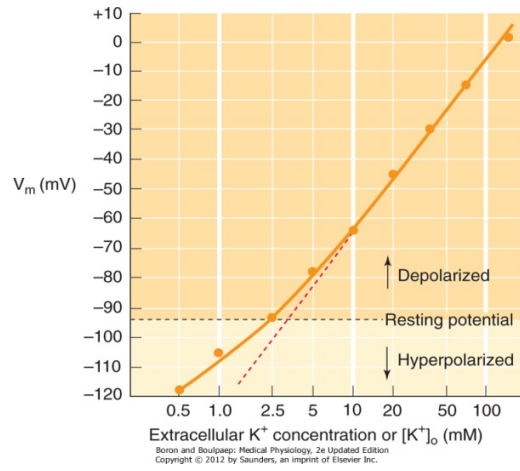
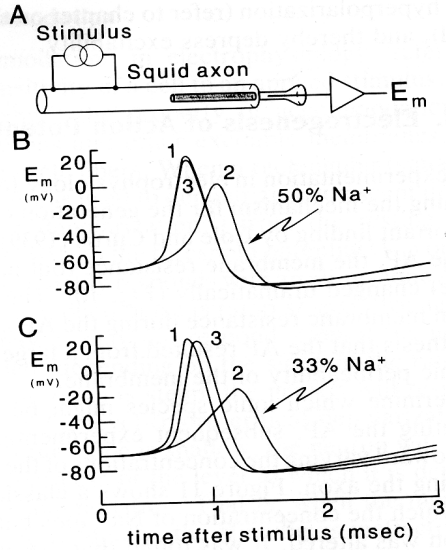
(1) Voltaj-kapılı
iyon kanal
sayısı/ μm^2 zar



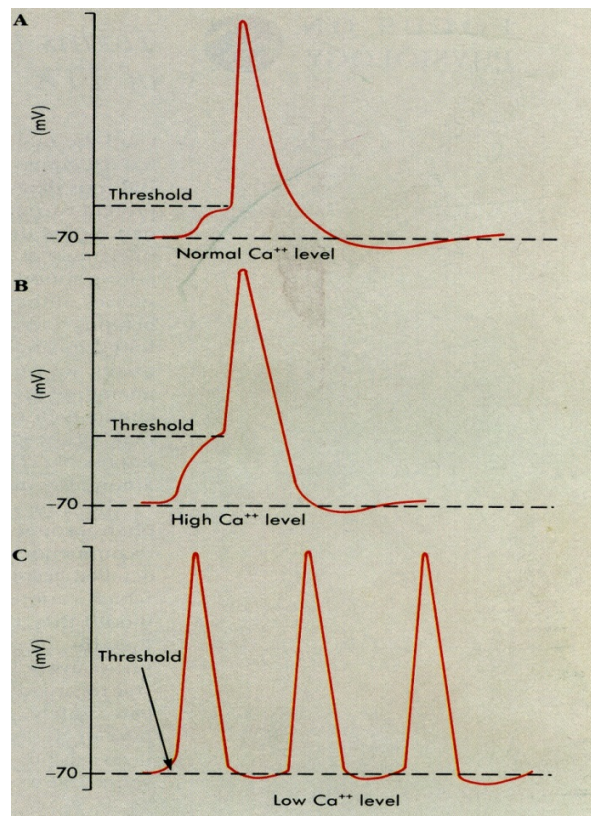
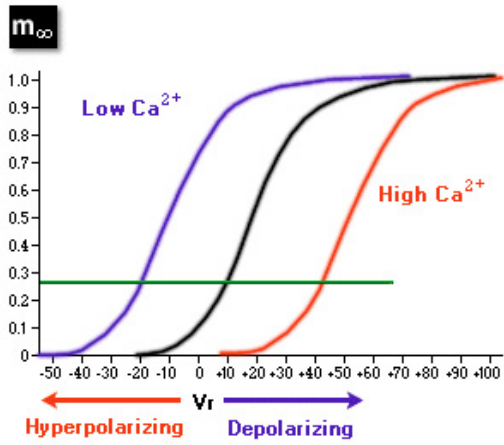
(2) Miyelin tabakası

(3) Akson çapı

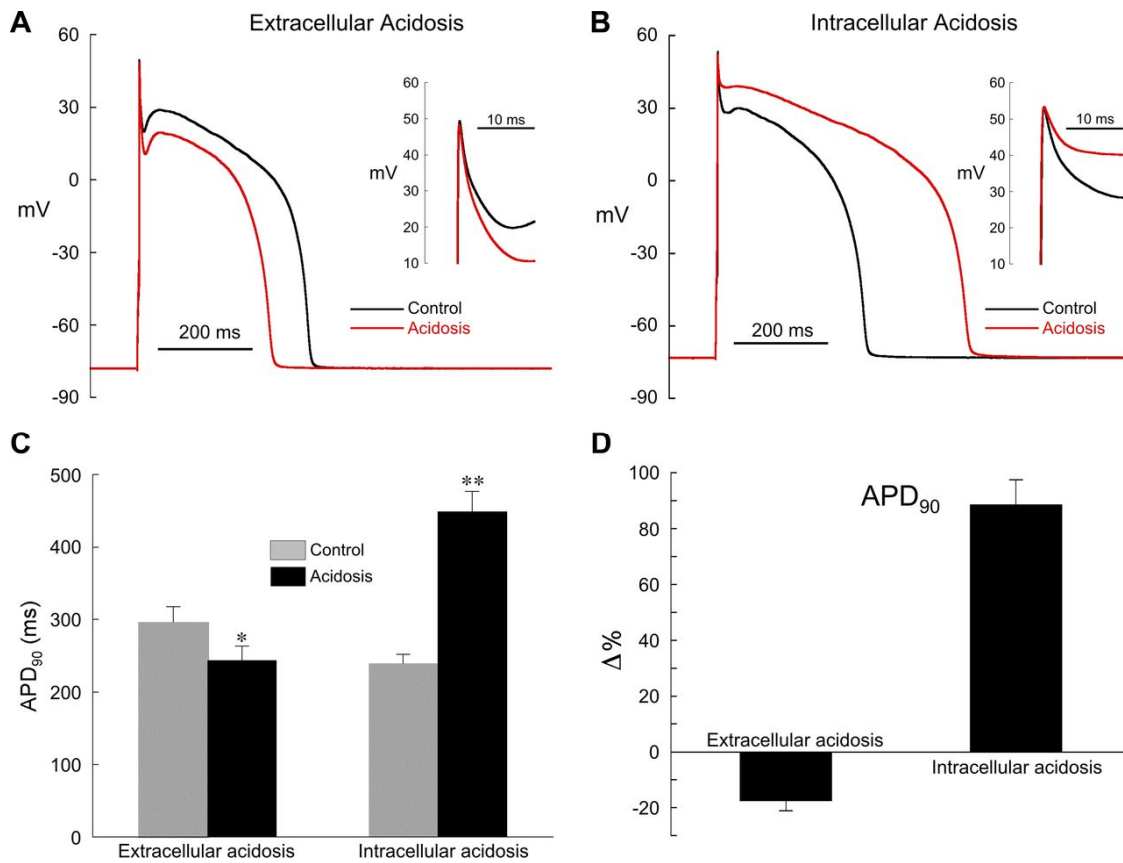
(4) Ekstrasellüler iyok kansantrasyonu: Na^+ ve K^+



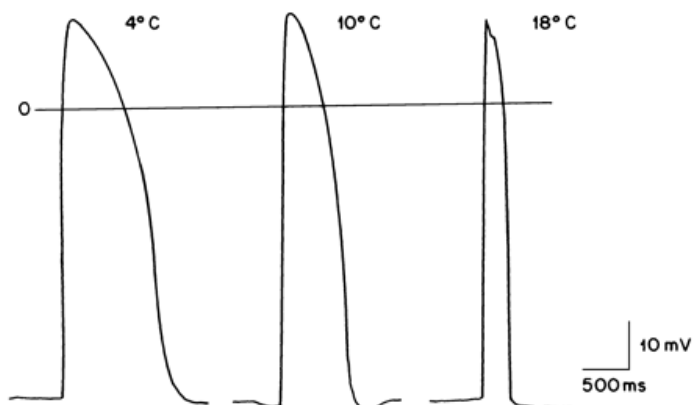
(5) Ekstrasellüler iyonik konsantrasyonlar: Ca^{2+}



(6) Ekstrasellüler/intrasellüler H⁺ konsantrasyonu



(7) Sıcaklık



Aksiyon potansiyeli yayılması OTODALGALARA bir örnektir

-Canlılarda organizmanın içinde veya organizmalar arasında bilgi iletimi aksiyon potansiyeli ile olmakta olup bu olay genellikle bir dalga yayılması şeklinde olmaktadır ki buna otodalga (başka bir örnek; bir katalizörün aktivasyonu) denir. Ses dalgaları veya elektromagnetik dalgalardan farklı özelliklere sahiptirler:

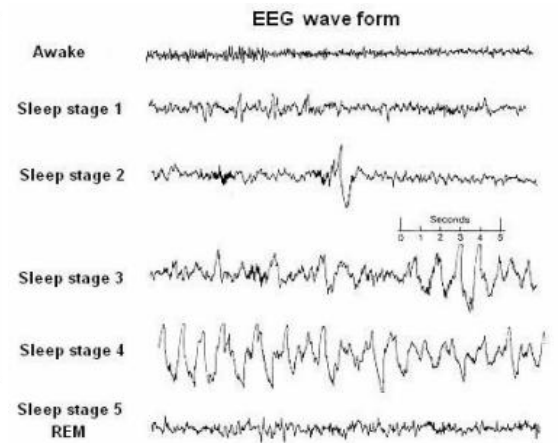
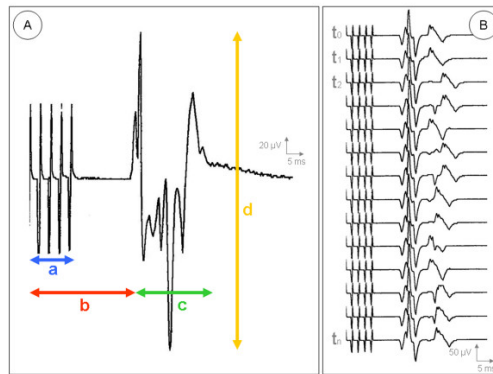
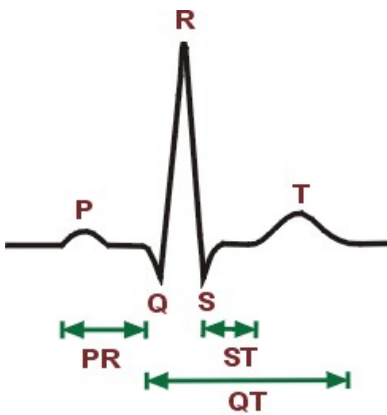
1- dalgalar bir dış etkenden kaynaklanır ve yayılması için bir enerji gerekmez. Ortamda genliği ve şiddeti zayıflar, dispersiyon (yani kısaca yayılma hızının frekansla değişmesi) olayından dolayı sinyal biçimi (zaman deseni) bozulur.

2- otodalgalar enerji kaynaklarının dağılı olduğu aktif bir ortamda yayılır, depolanmış enerji yöresel olarak salınır, ve bu enerji komşu bölgelerde de aynı süreçleri başlatır.

3- otodalgaların deseni bozulmadan yayılır (sinyal kopyalanması) çünkü ortamın yüksek enerjili bölgesi düşük enerjili düzeye geçer.

4- ortamde depolanmış enerji korunmaz, harcanır, çarpışan otodalgalar birbirini yok eder, yansıma ve kırınım-girişim olanaksızdır.

BİLEŞİK AKSİYON POTANSİYELİ



Bir siniri veya kası oluşturan tüm liflerde iletim ile ilgili olaylar birbirine benzese de yapısal farklılıklar nedeni ile örneğin ;

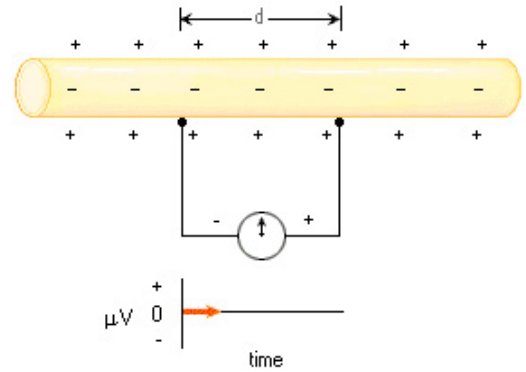
- İletim hızı
- Eşik potansiyel

farklılıklar gösterir

Böylece, demeti oluşturan liflerin ayrı ayrı (bireysel)

AP katkıları ile ortaya çıkan elektriksel aktiviteye

Bileşik Aksiyon Potansiyeli (CAP) denir.



Bileşik Aksiyon Potansiyeli Özellikleri

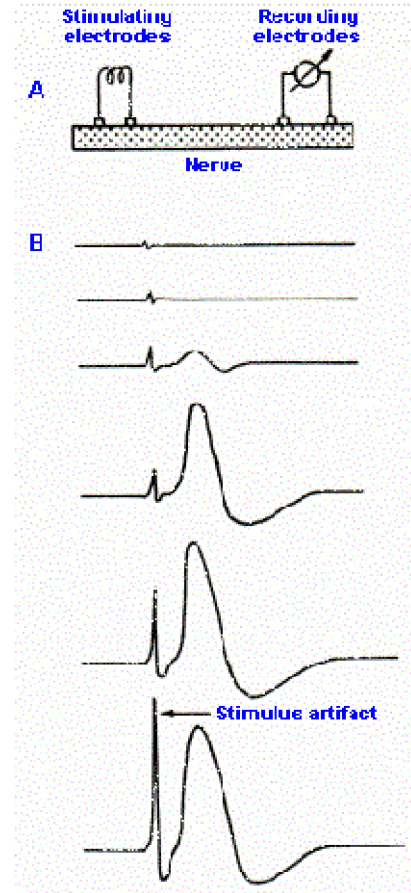
- 1- Dinlenim membran potansiyeli ölçülemez,
- 2- İntrasellüler AP' ye benzemeyerek hep- ya da – hiç yasına uymaz,
- 3- İntrasellüler AP' ye benzemeyerek tek bir lifin aktivitesini yansıtmaz,
- 4- uyarılan ve demet içinde bulunan tüm liflerin bileşik elektrik aktivitesini yansıtır

Ekstrasellüler kaydedilen AP'ler: Monofazik AP'ler

Çok sayıda akson bulunduran bir sinir demetinin dışından (ekstrasellüler) elektriksel aktivite kayıt ederken, bifazik bir potansiyel analiz etmesi oldukça zor komplike bir sinyal elde edilir.

Bununla beraber, eğer bir elektrot lifin sağlam yerine (Aktif elektrot) ve diğeri sinirin aktif olmayan yerine (Referans elektrot; örneğin lifin ezilmiş bölgesine) yerleştirilirse, AP' nin sadece ilk fazı kaydedilebilir. Benzer etki, kayıt elektrotu (aktif elektrot) demet üzerinde yer değiştirilerek ve elektriksel bağlantıyı devam ettirerek demet yüzeyinden potansiyeller kaydedilebilir.

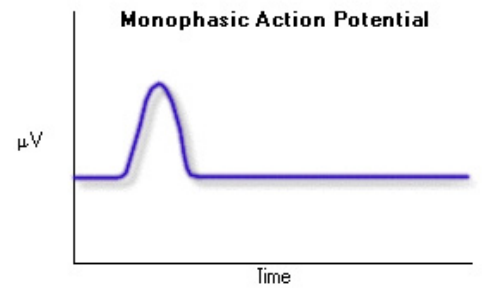
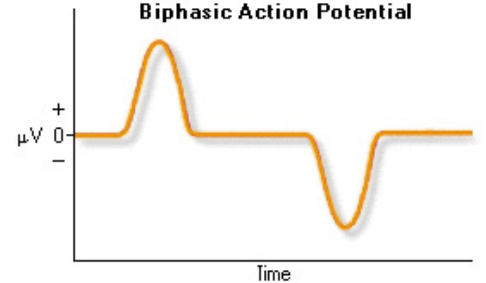
Bu tip kayda MONOFAZİK AP denir.



Bifazik (iki fazlı) Aksiyon Potansiyellerinin Özellikleri

Genlikleri:

- Tek lif AP genliği 100 mV üzerinde iken BAP genliği 10-100 μ V civarında
- Genliğin büyüklüğü katılan lif sayısına,
- demet ile elektrotlar arası uzaklığa, ve 2 elektrot arası uzunluğa,
 - Elektrotlar ile demet arasındaki elektriksel iletim kalitesine
 - Elektrokardiyogram (ECG veya EKG), elektroensefalogram (EEG), ve elektromiyogram (EMG) kalpten, beyinden, ve kas dokusundan ekstrasellular kayıtlardır



Bileşik Aksiyon Potansiyeli:

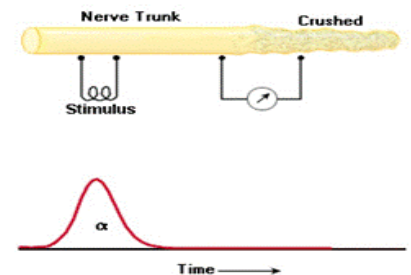
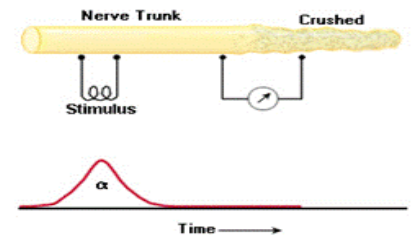
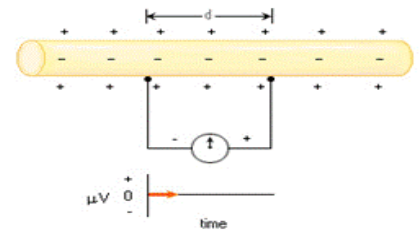
Bir Threshold uyarısına yanıt

Sinir demeti yüzeyinden monofazik bir aksiyon potansiyeli kaydedilirken, elde edilen sinyal demete katılan tüm sinir liflerinin her birinin katkısını kapsar ve bu yüzden BAP adı verilir.

Eğer sinir demeti sadece A^α , A^β , A^γ tipindeki liflerden oluşmuş ise, uyarı yok ise, tüm lifler dinlenim durumundadır ve 2 kayıt elektrotu arasındaki potansiyel farkı 0 mV olur.

Uyarı şiddeti artırılınca A^α liflerden gelen yanıt olarak monofazik bir aksiyon potansiyeli kaydedilir. Çünkü bu lifler demeti oluşturan ve eşikleri en düşük olan liflerdir.

Uyarı şiddeti artırılınca A^α liflerden gelen yanıt genliğinin artması yanında A^α ve A^β liflerinin de uyarılmaya başlamasından dolayı onların da katkıları ile aksiyon potansiyelinin şekli değişir.



Bileşik Aksiyon Potansiyeli: Kliniksel Kayıtlar

A, B, ve C tip lifler içeren bir demetten kaydedilmiş monofazik BAP gösteriyor.

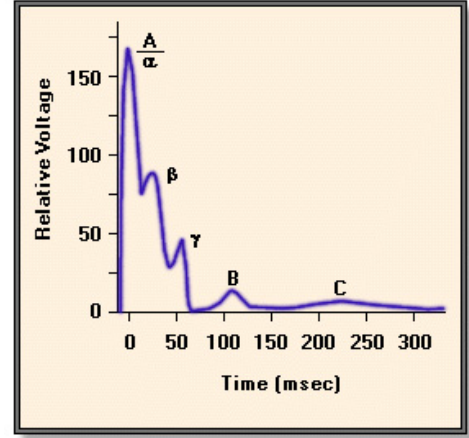
Burada her bir tepe farklı iletim hızlarına sahip liflerin varlığını gösteriyor.

Sonuç olarak, düşük iletim hızına sahip liflerin aksiyon potansiyelleri uyarıcı elektrottan kayıt elektrotuna iletilmesi daha uzun zaman alacaktır.

Bu özellik bir demet içindeki çeşitli aksonların iletim hızlarını hesaplamak için kullanılır.

İletim hızı bilgisi monofazik BAP katkıda bulunan lif tiplerini sınıflandırmak için kullanılır.

Bundan dolayı, bir sinir demetini oluşturan liflerin iletim hızlarını ölçme çok yaygın ve yararlı bir klinik test olarak kullanılmaktadır.



İletim hızı ölçümü

Monofazik bileşik aksiyon potansiyelinden aşağıdaki yolla hesaplanır:

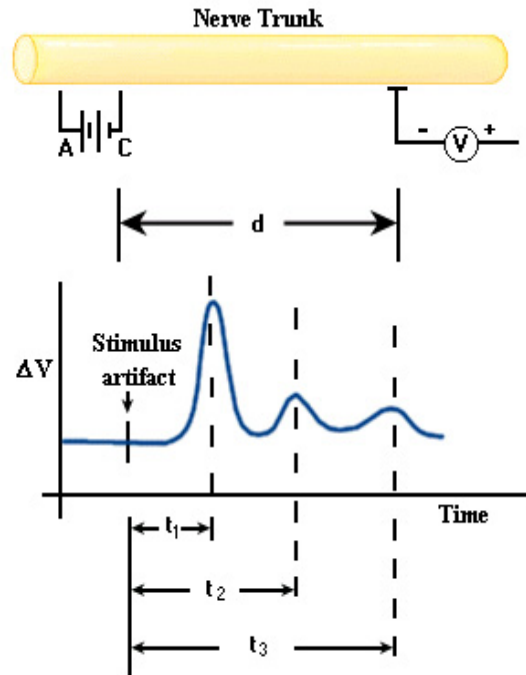
1- Katot altındaki sinir demeti elektriksel bir stimulator ile uyarılır (C, negative lead). Uyarılma esnasındaki stimulus A stimulus artifaktı bir voltmetre ile saptanır.

2- (d) uzunluğu (cathode ve ilk recording electrode arası) ölçülür.

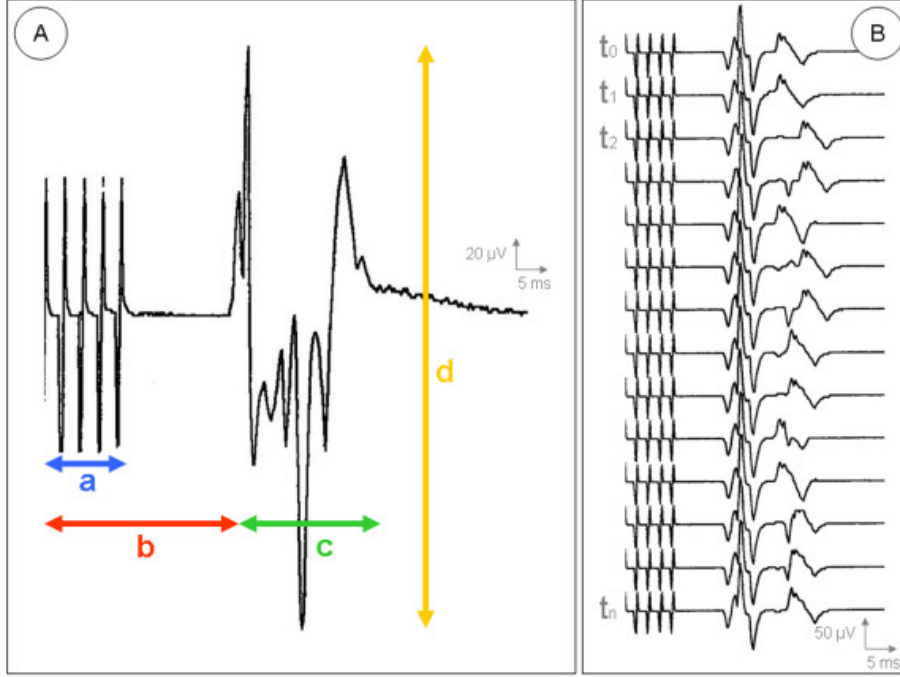
3- t₁, t₂, ve t₃ zamanları (stimulus artifaktından her bir monofazik aksiyon potansiyeli tepesine ulaşmak için geçen zamalar) ölçülür.

Her bir lifin ortalama iletim hızı (CV);

$$CV = d/t$$



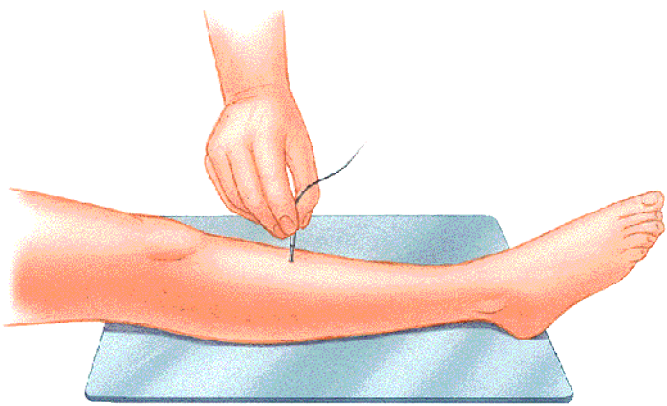
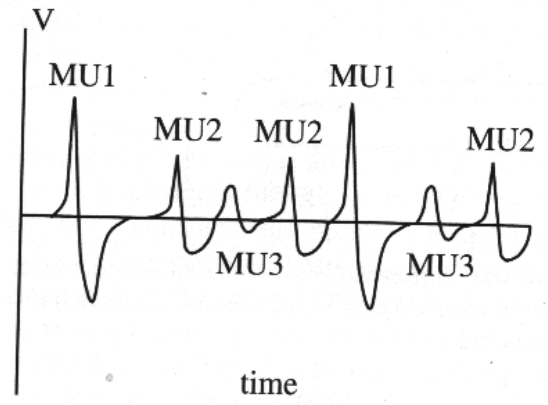
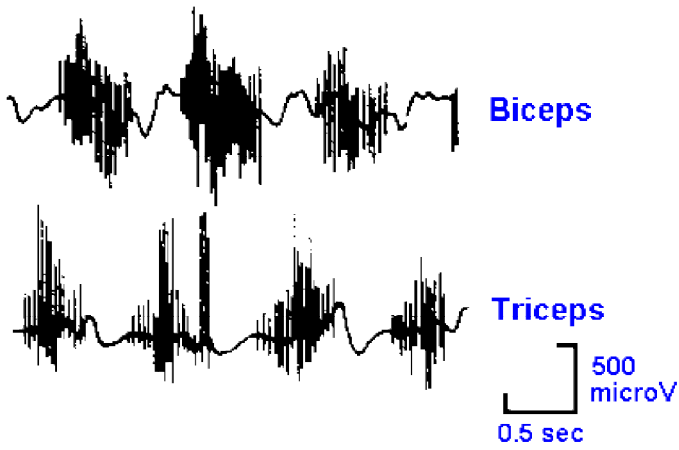
İskelet kasından kaydedilen bileşik aksiyon potansiyeli: ELEKTROMİYOGRAMIN (EMG) TEMEL İLKELERİ



* Elektromiyografi kasların elektriksel özelliklerinin incelenmesi ve elektronörografi (ENG) ise motor ve çevresel sinirlerin elektriksel özelliklerinin incelenmesi olarak tanımlanır. Sıklıkla da ENG ve EMG birlikte uygulandıkları için, çoğu yerde her ikisine birden EMG denir.

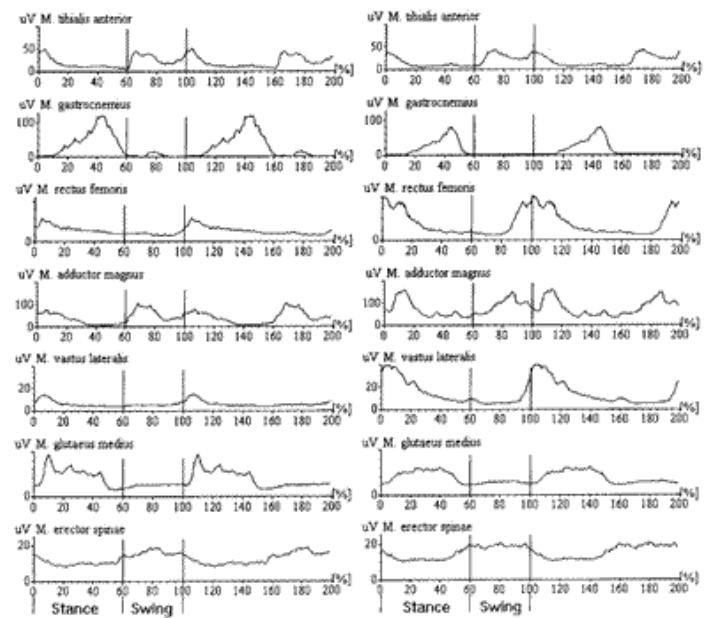
* EMG incelemesi kasların içine iğne şeklinde kayıt elektrodları sokmak veya kas yüzeyine geniş yüzeyli elektrotlar yerleştirmek yoluyla yapılır. EMG cihazı ile aktif durumdaki iskelet kasının (istemli kasılma veya motor sinir aracılığı ile uyarılmış) kas liflerinin topluca elektriksel aktivitesi olan bileşik aksiyon potansiyellerinin gözlenmesini sağlar.

* EMG eğrileri geniş bir frekans aralığında (10-5,000 Hz) olup yüksek frekans bileşenlerine de sahip genlikleri mV lar mertebesindedir. İncelenen kasın sinirinin kopuk olup olmadığını, kopuk ise bunun tam mı kısmi mi olduğu hakkında fikir verir. Ayrıca, kasta anormal bir durum var ise bunun omurilikten mi, sinir kökünden mi, çevresel sinirden mi yoksa kasın kendisinden mi kaynaklandığını söyler.

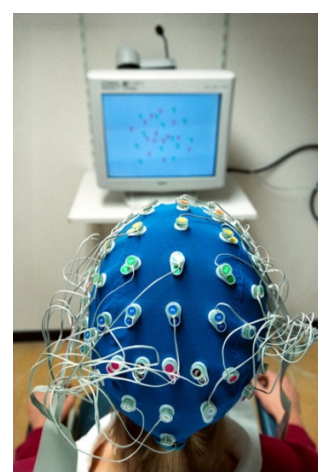
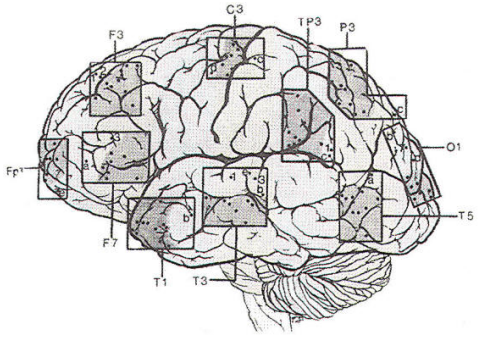


Healthy Subject

Treadmill **Gait Trainer**



Beynin elektriksel aktivitesini nasıl kaydederiz ve ne gözlemleriz??



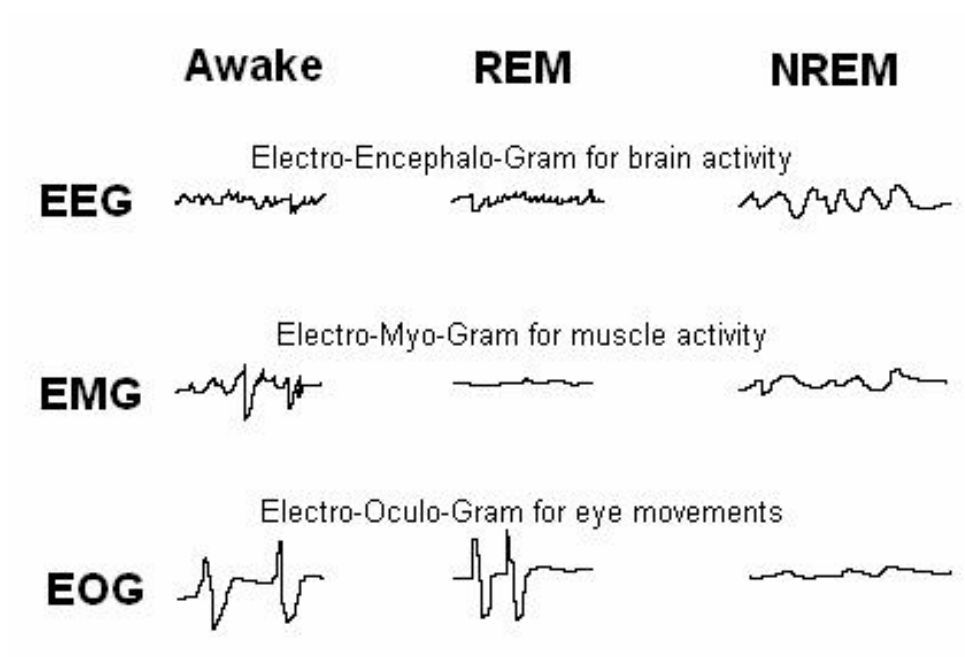
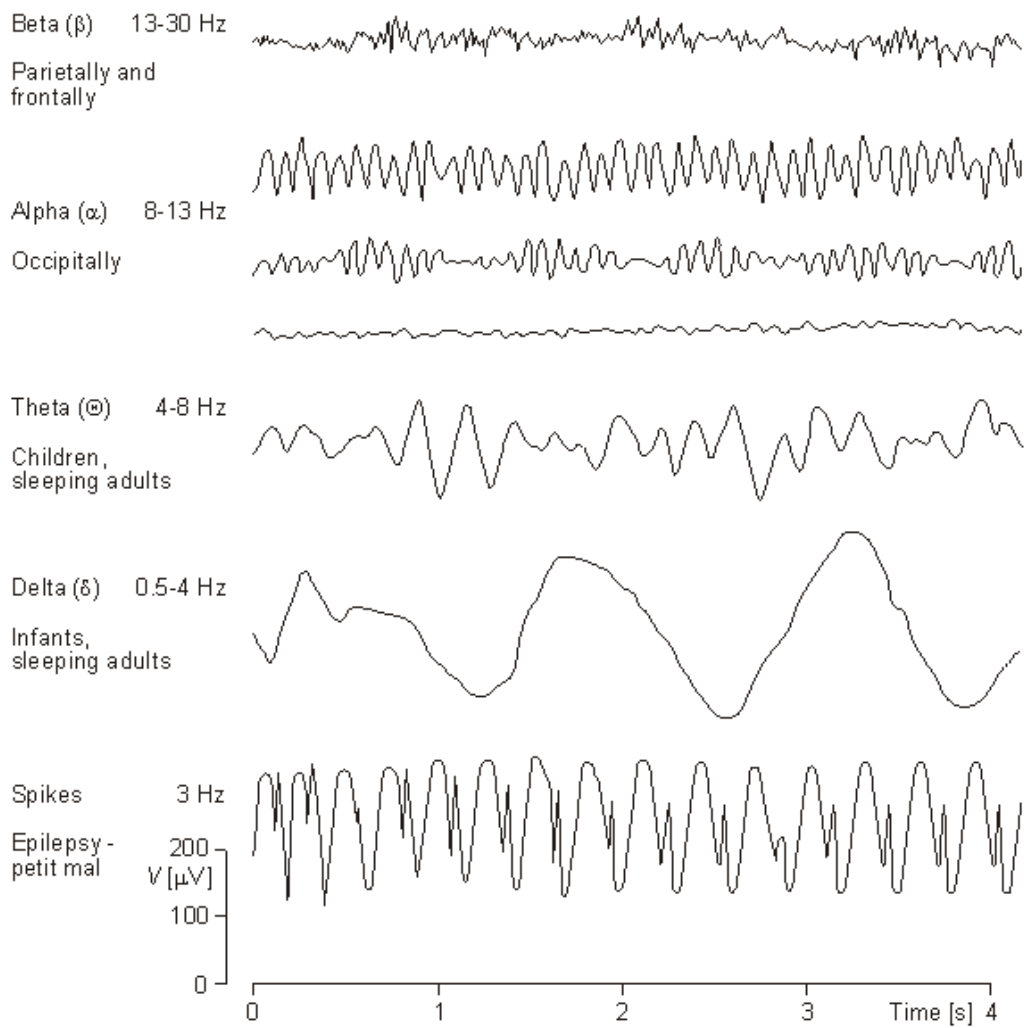
Elektroensefalografi (EEG), epilepsili hastaları ve şüphe oluşturan nöbet bozuklukları olan hastaları incelemekte kullanılan önemli bir tetkiktir. Beynin elektrikselaktivitesini ölçmek için EEG cihazı kullanılmaktadır.

REEM bünyesinde kantitatif EEG, diğer adıyla beyin haritalanması tetkini de yapabilmekteyiz. Beyin haritalanması olayı lokalizasyon değeri açısından önemlidir. Hatta üç boyutlu teknikler de mevcuttur. Üç boyutlu lokalizasyon belirlemesinin, epilepsi cerrahisinde hiç kuşkusuz önemi çok büyüktür. Ancak kantitatif EEG(QEEG) her ne kadar farklı bir uygulama gibi gösterilse de normal rutin EEG den çok farklı değildir. Kantitatif EEG(QEEG) rutin EEG trasesi üzerindeki alfa, beta, teta ve delta dalgalarının bir nevi elektronik ortamda istatistiksel dökümünün yapılmasıdır.

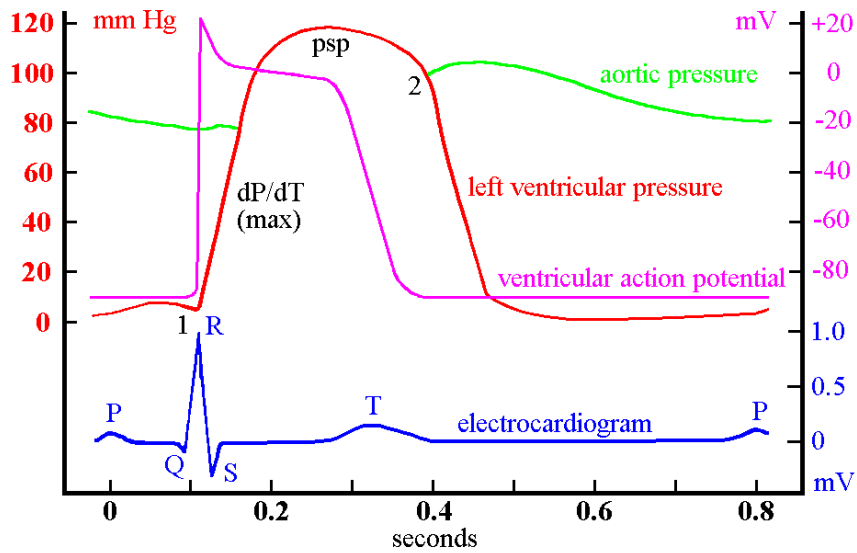
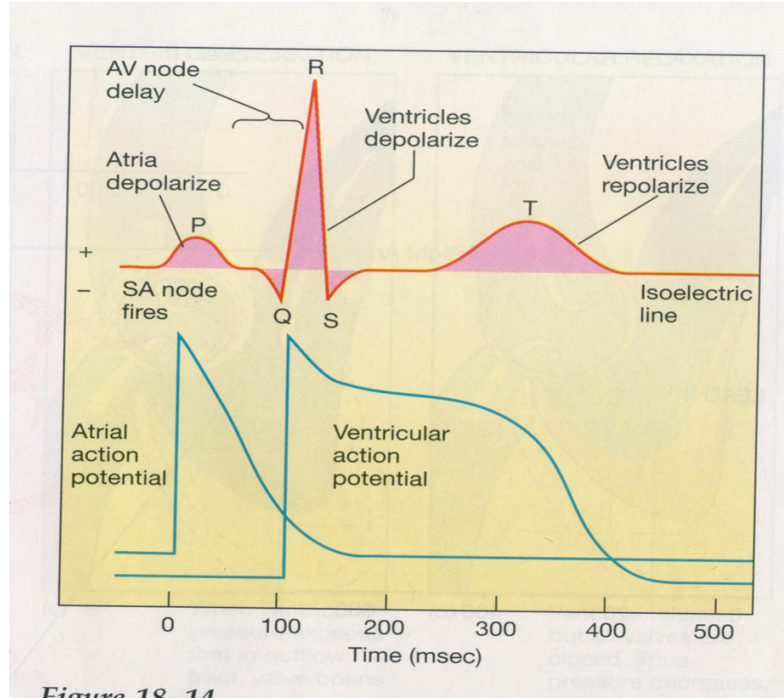
Rutin EEG

Beyindeki sinir hücreleri tarafından hem uyanıklık, hem de uyku halindeyken üretilen elektriksel faaliyetin kağıt üzerine beyin dalgaları halinde yazdırılmasıdır.

Stage	Frequency (Hz)	Amplitude (micro Volts)	Waveform type
awake	15-50	<50	
pre-sleep	8-12	50	alpha rhythm
1	4-8	50-100	theta
2	4-15	50-150	spline waves
3	2-4	100-150	spindle waves and slow waves
4	0.5-2	100-200	slow waves and delta waves
5 (REM)	15-30	<50	



Kardiyomiyosit Aksiyon Potansiyelleri ve EKG Arasındaki Zamansal İlişki

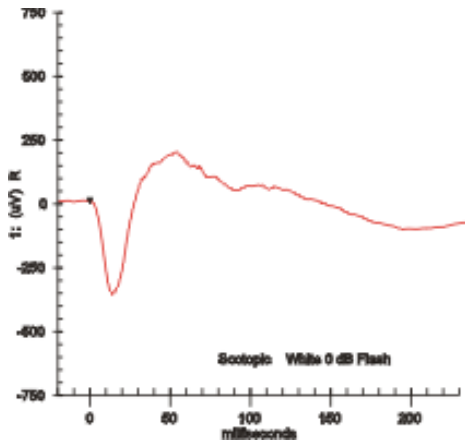


ELEKTRORETİNOGRAM (ERG): retinal hücrelerde potansiyeller

ERG retinada bulunan çeşitli hücre tiplerinin elektriksel yanıtlarını ölçümüdür:

Fotoreseptörler (rods & cones), iç retinal hücreler (bipolar & amacrine), ganglion hücreleri

ERG deki maksimum potansiyeller



The single flash Ganzfeld Electoretinogram

FIG. 2A

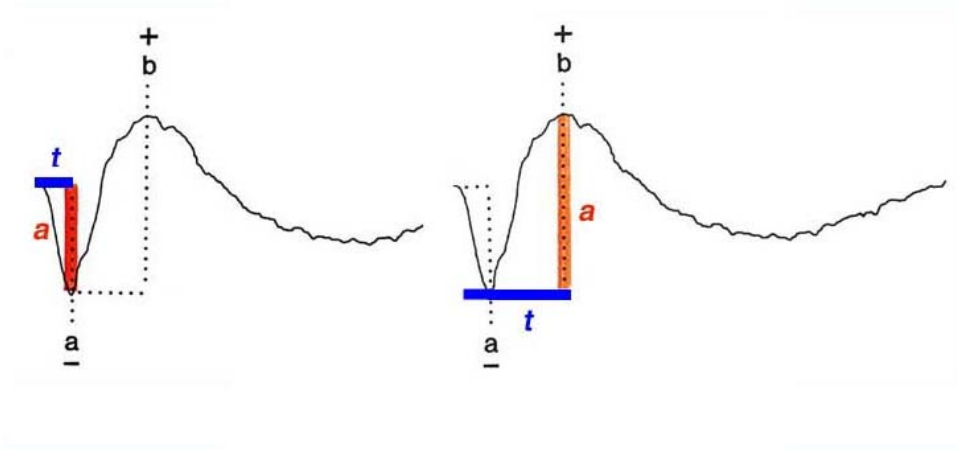
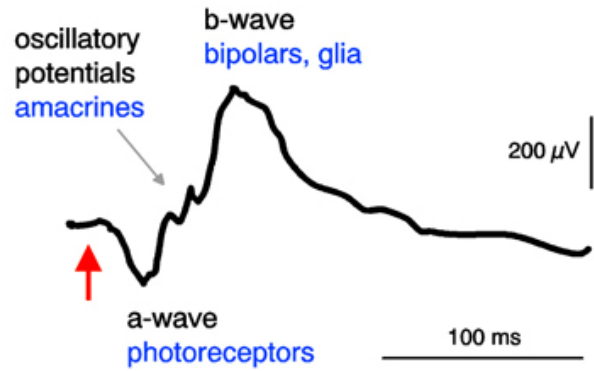


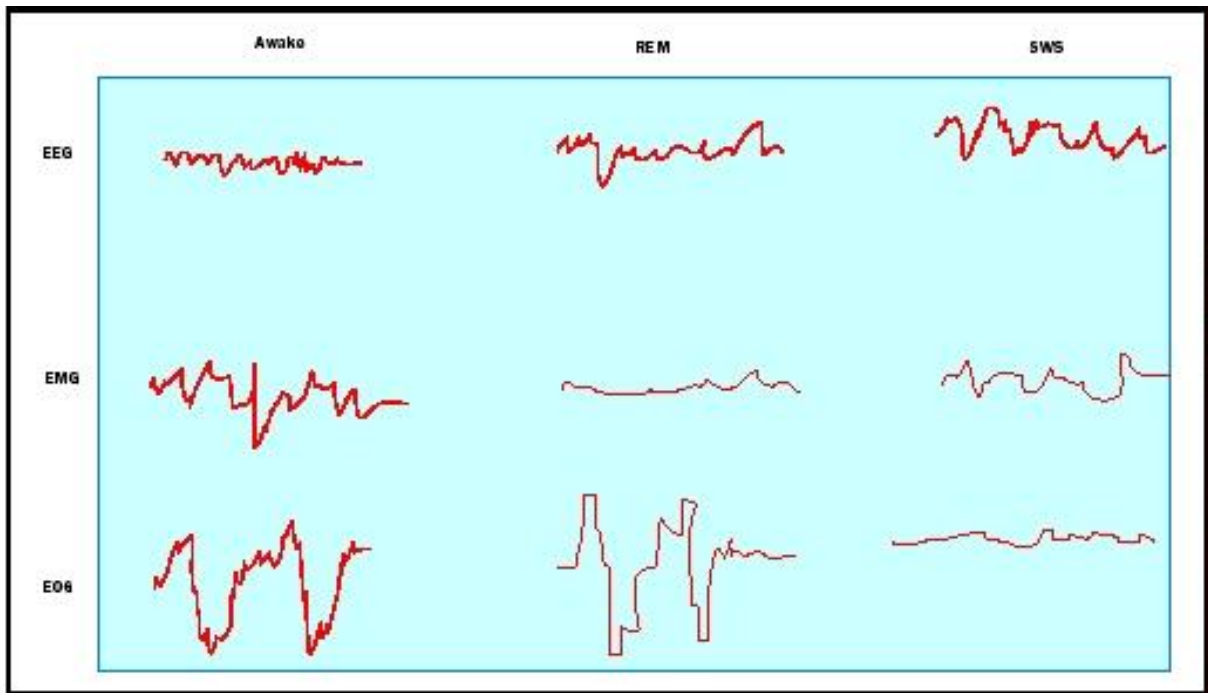
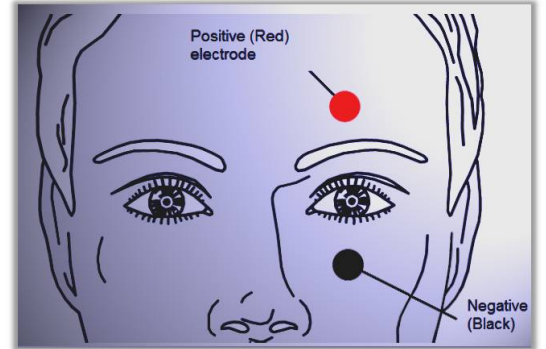
Fig.2 Amplitude and implicit time measurements of the ERG waveform.

Multifokal Elektoretinogram (MERG)

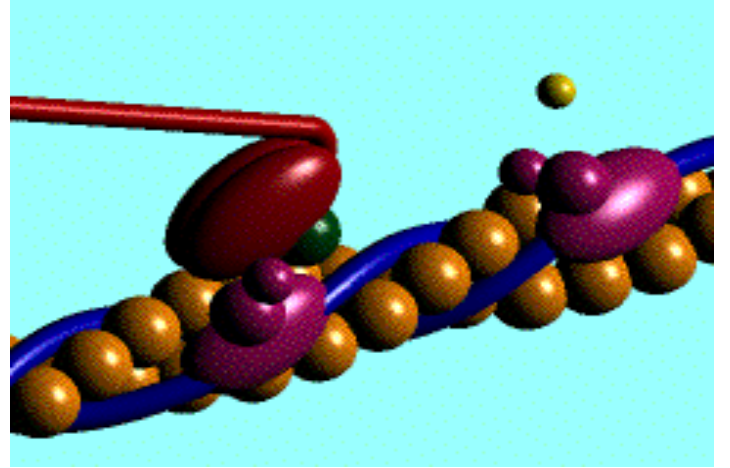
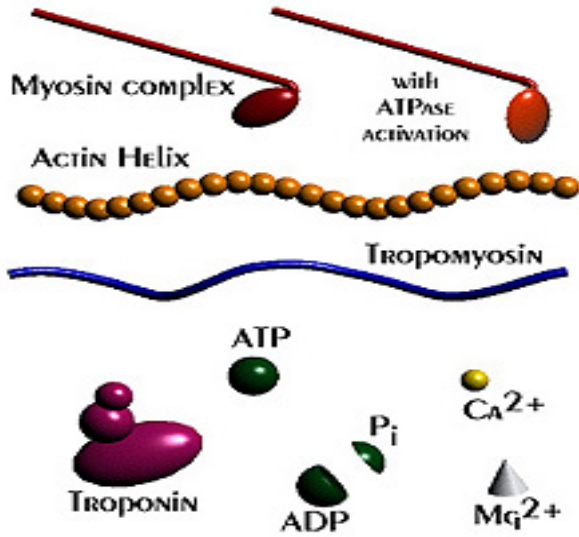
Macular dejenerasyon varsa (özellikle görünebilir retinal değişiklikler gözlenemediği durumlarda), multifokal ERG tekniği merkezi kon fonksiyonunu dedekte etmek ve kuantifiye etmek için çok yararlıdır.

Elektrookülogram (EOG)

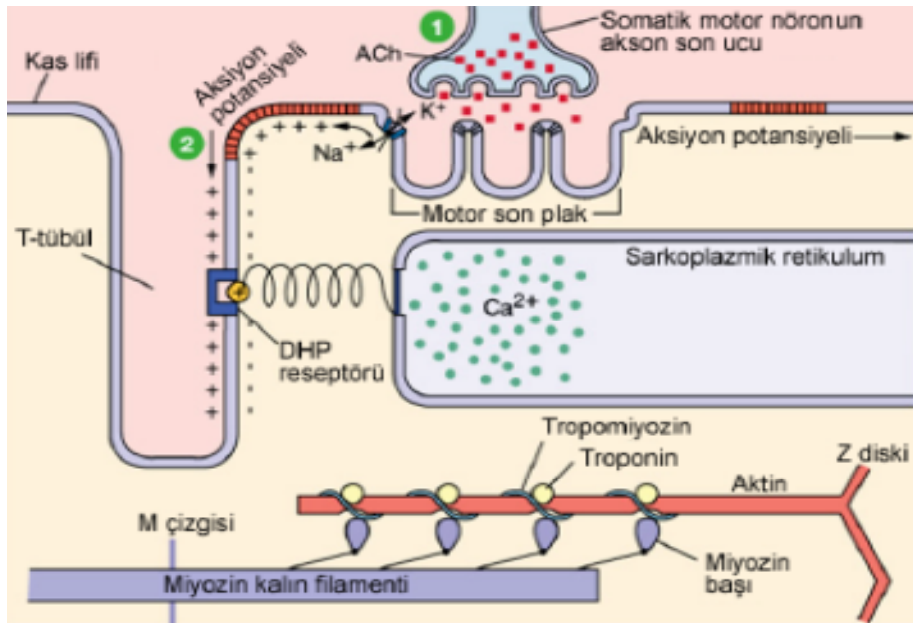
Gözün her iki yanındaki deriye iki elektrot yerleştirilerek gözün pozisyonuna ve hareketlerine göre bunlar arasındaki potansiyel farkı kaydedilebilir. Negatif elektrik yüküne sahip göz korneası ile pozitif yük taşıyan göz retinanın arasındaki dinlenme zar potansiyelini ölçen elektrofizyolojik bir yöntemdir



KASILMA İLE İLGİLİ AKTÖRLER ve PERİYODİK MİYOZİN AKTİN ETKİLEŞMESİ

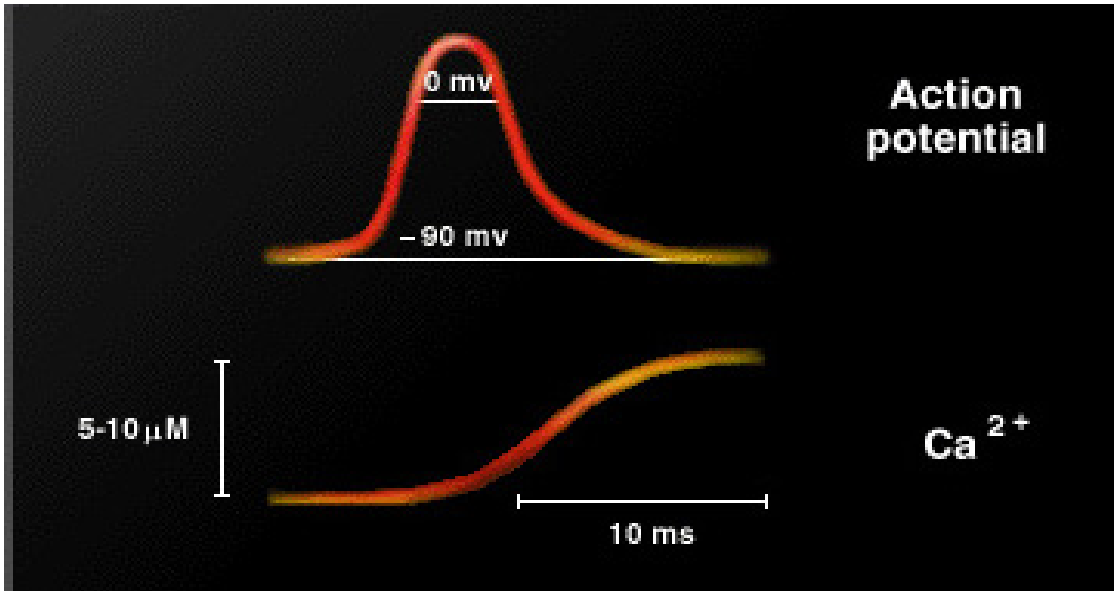
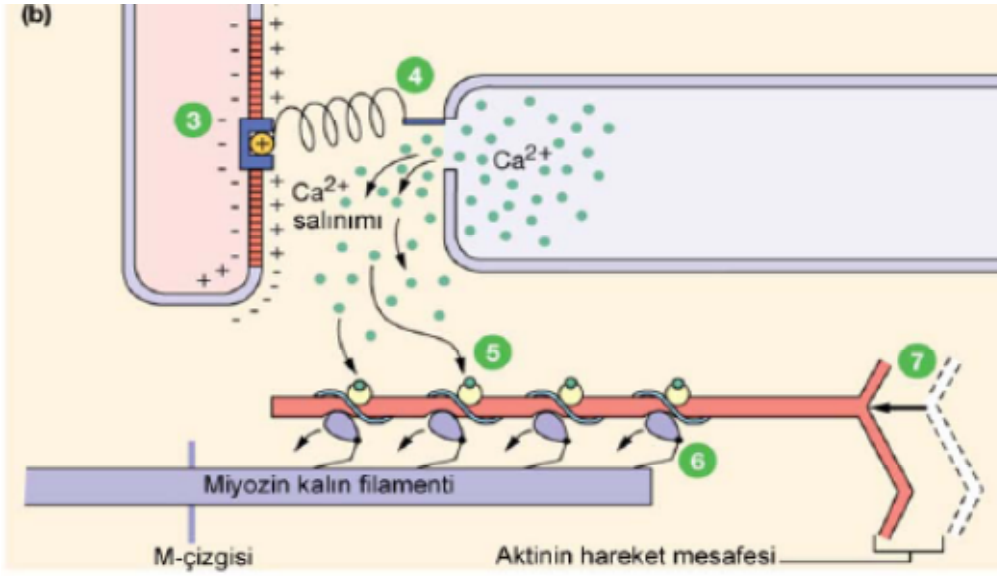


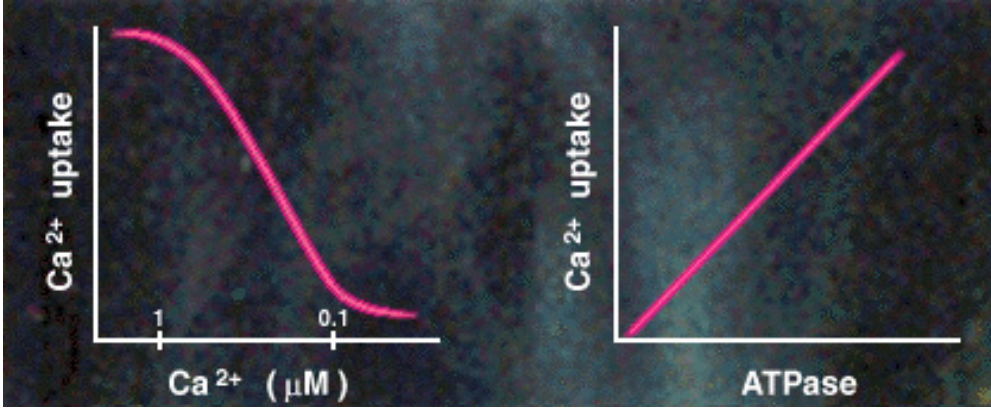
KASILMANIN TEMEL İLKELERİ: UYARILAMA-KASILMA ÇİFTLENİMİ



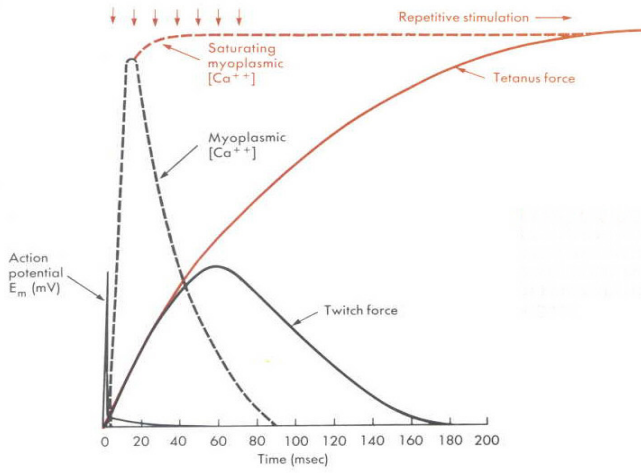
KAS

AKSIYON POTANSİYELİ (UYARILMA) → HÜCRE İÇİ Ca^{2+} ARTIŞI

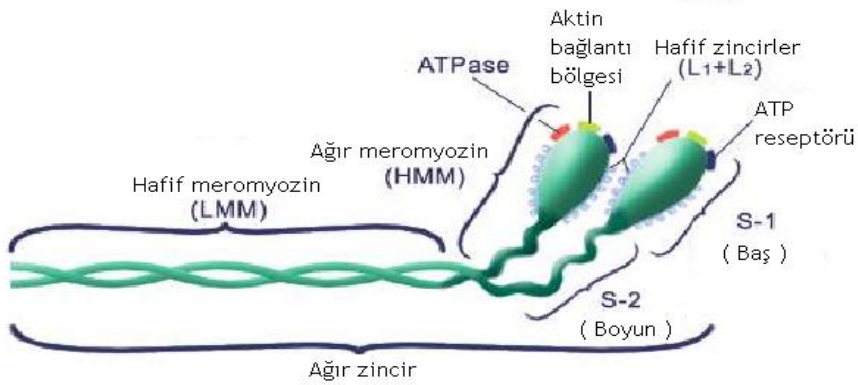


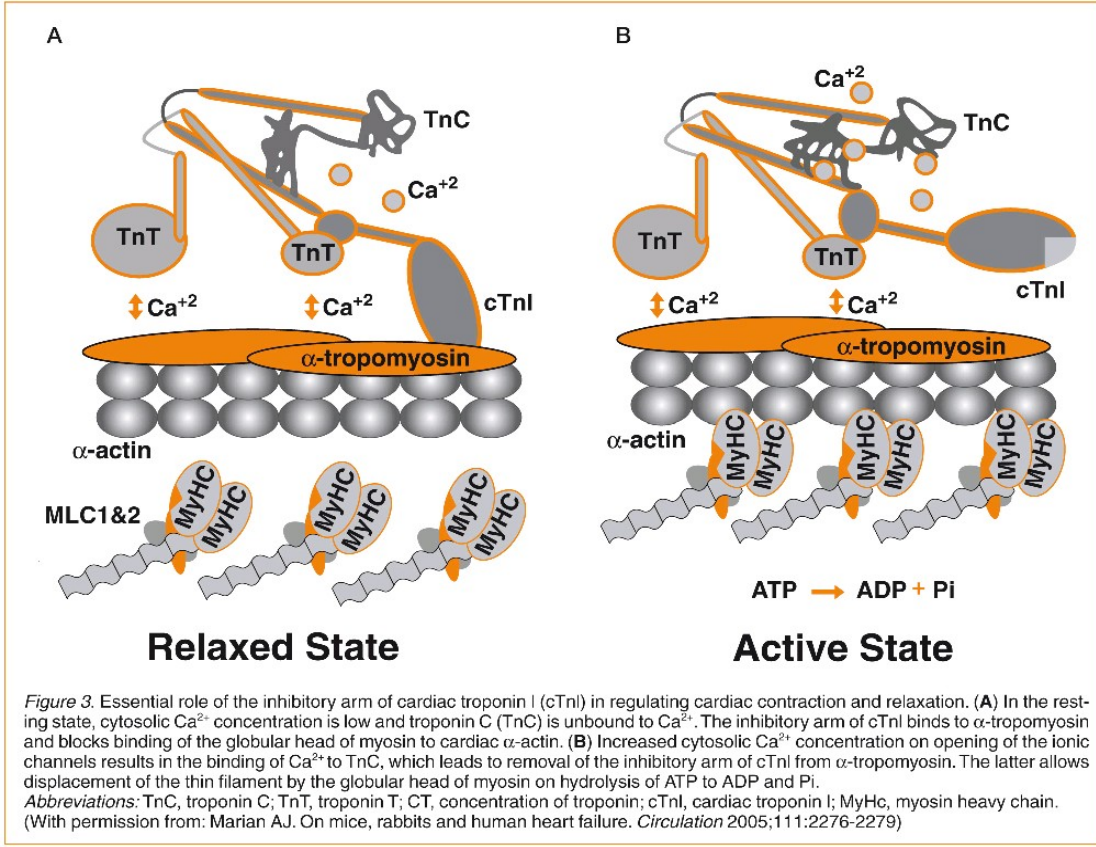


UYARILAMA-KASILMA ÇİFTLENİMİ AKSİYON POTANSİYELİ → HÜCRE İÇİ Ca²⁺ ARTIŞI → KASILMA/GEVŞEME AKTİVİTELERİ



Aktin ve Miyozinin Fiziksel Özellikleri





Çapraz Köprülerin Dinamiği

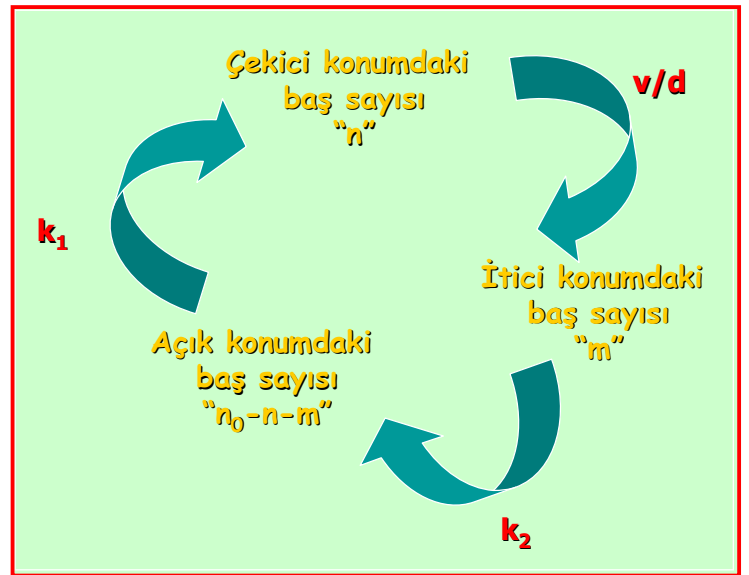
Miyozindeki toplam miyozin baş sayısının yarısı " n_0 " ise

V : filamanların bağıl

kayma hızı

d: aktin üzerinde 2 aktif

bölge arasındaki uzunluk



$$\frac{dn}{dt} = k_1(n_0 - n - m) - (v/d)n$$

İzotonik koşullarda bir tek çekici
Köprünün aktif kuvveti f_0 , bir köprücük
başına düşen yük kuvveti f , hareketli
toplam kütle M ise, (dinamik yasasına göre)

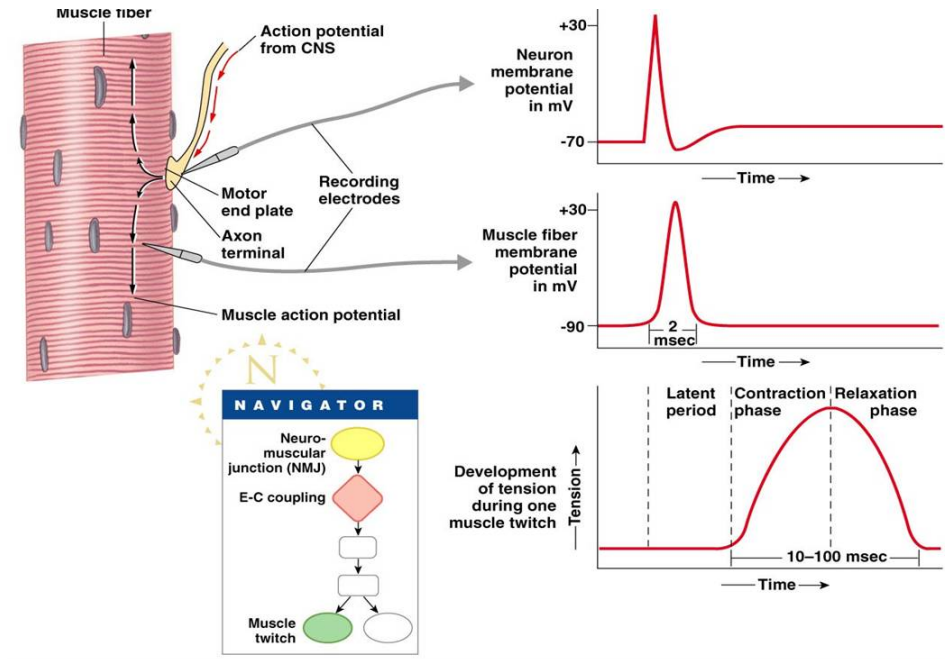
$$M \frac{dv}{dt} = f_0(n - m) - fn_0$$

Kararlı durumda (düzgün doğru. Harek.)

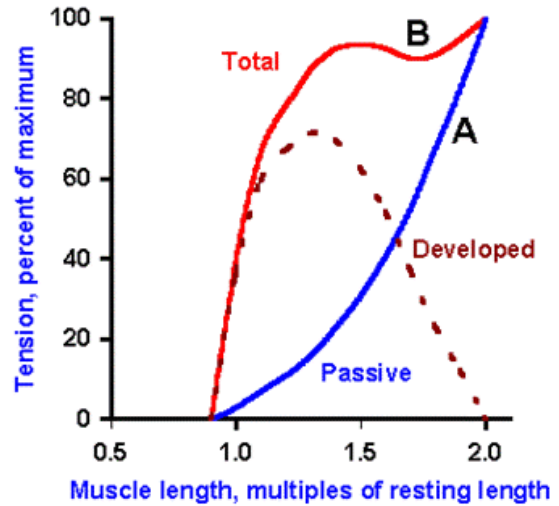
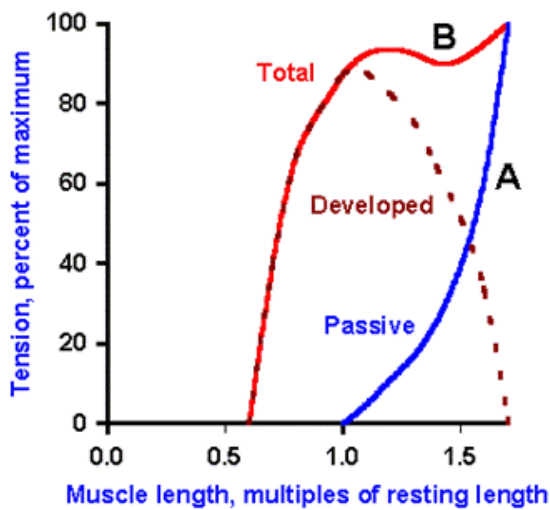
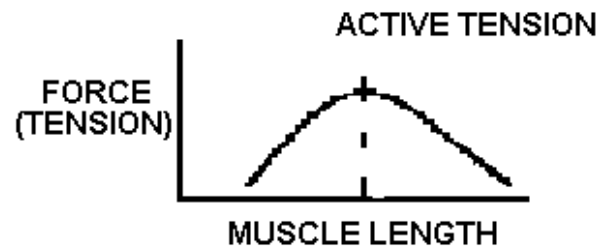
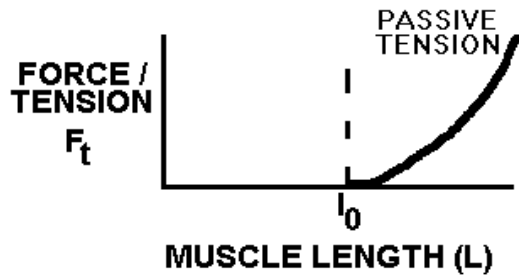
$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= 0 \\ \frac{dm}{dt} &= 0 \\ \frac{dM}{dt} &= 0 \end{aligned}$$

HILL DENKLEMİ

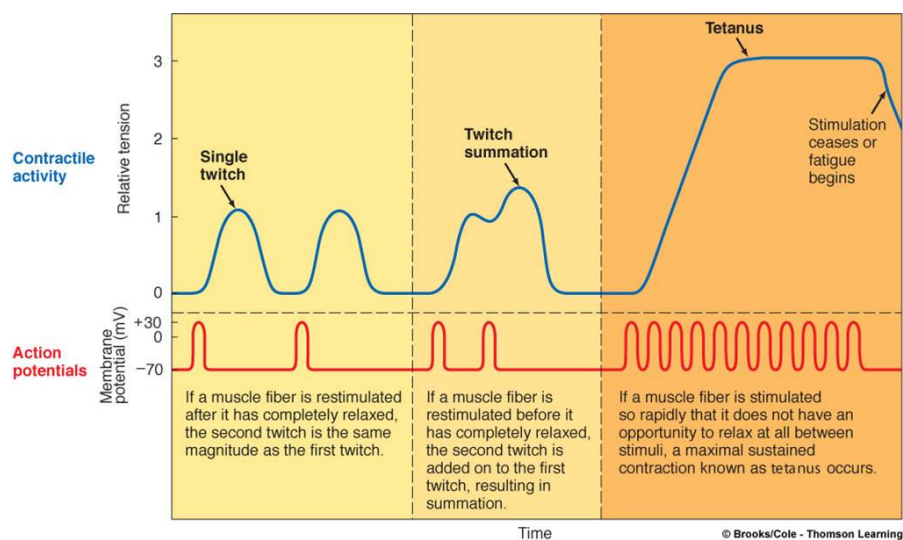
$$(f + a)v = b(f_0 - f)$$



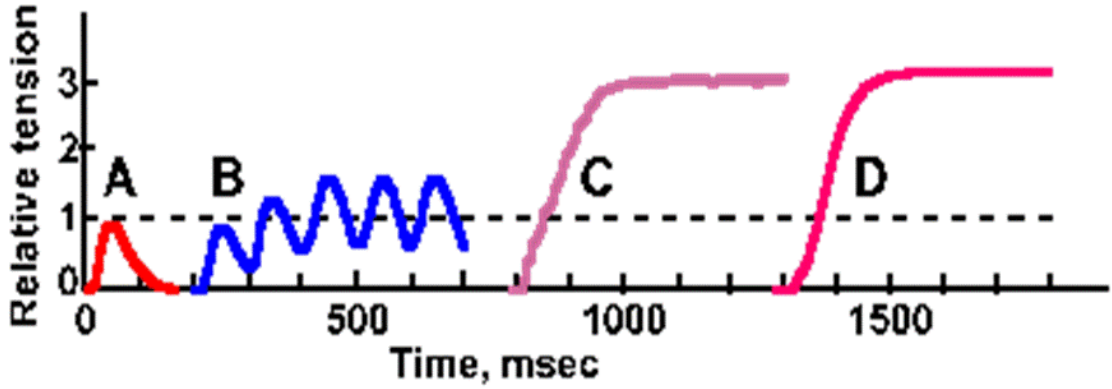
Kaslarda Kuvvetler: Aktif ve Pasif kuvvetler



TETANUS



TETANUS



Kas Kasılma Tipleri

İzotonik (dinamik)

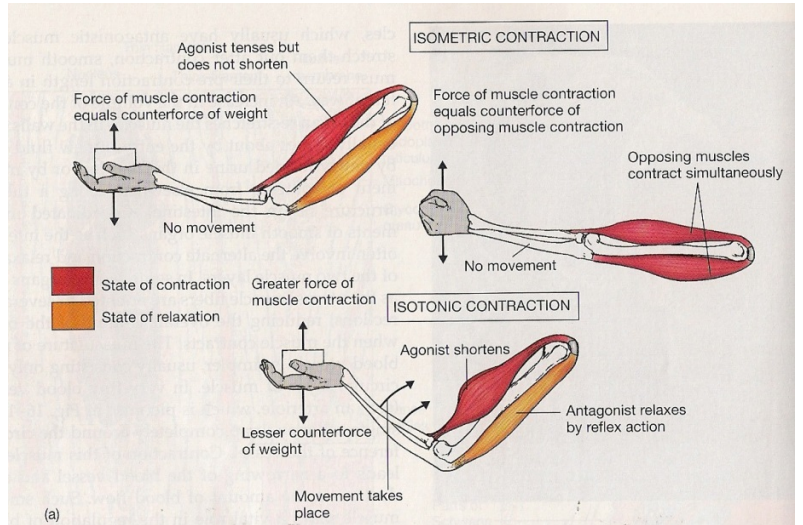
(I) Konsentrik Kas kuvvet üretimi sırasında kısalır

(II) Essentrik kas kas boyu uzarken kuvvet oluşturur

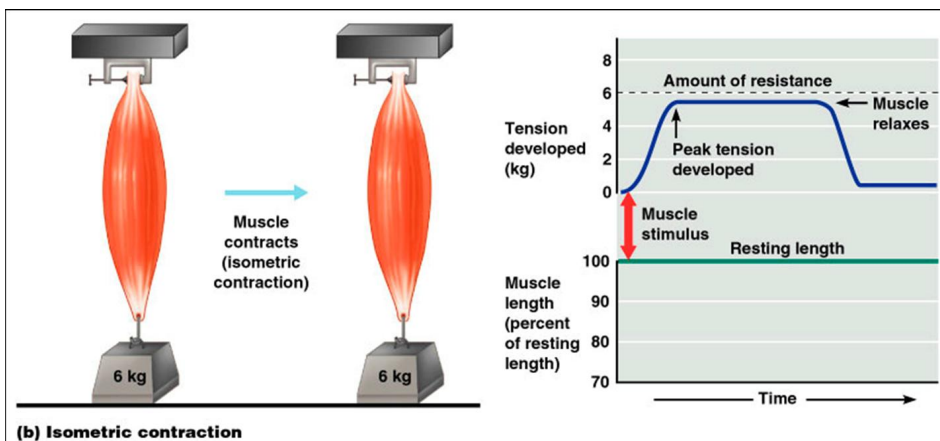
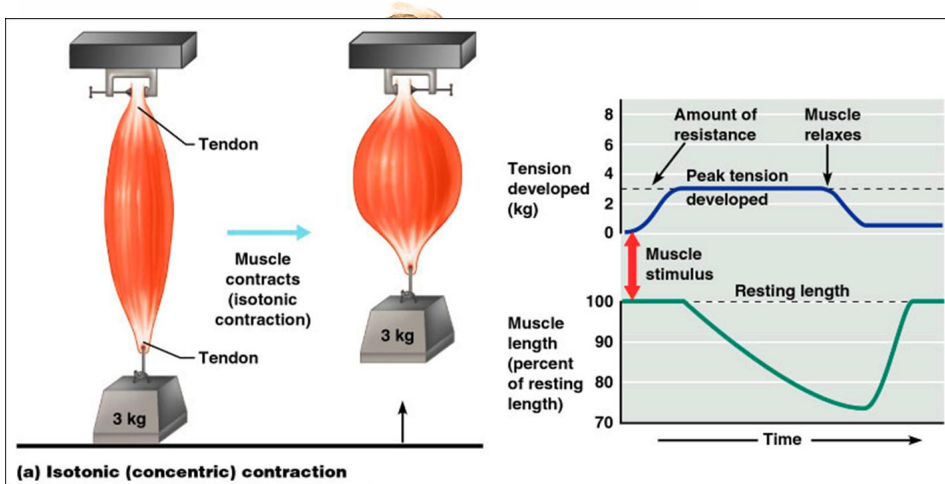
İzometrik (statik)

(I) Kas boyunda değişme olmadan kas kuvvet oluşturur

(II) Hareket etmeyen objeye karşı çekme kuvveti, postural kaslar



İzotonik & İzometrik Kasılmalar (Örnekler)



Kaslarda kuvvet – uzunluk ilişkisi

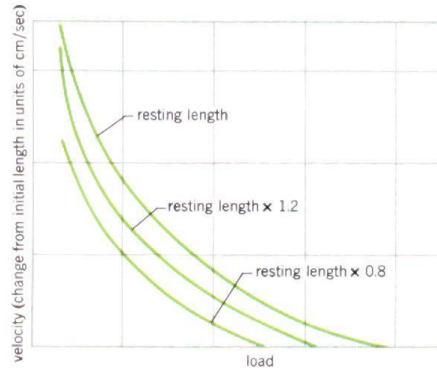
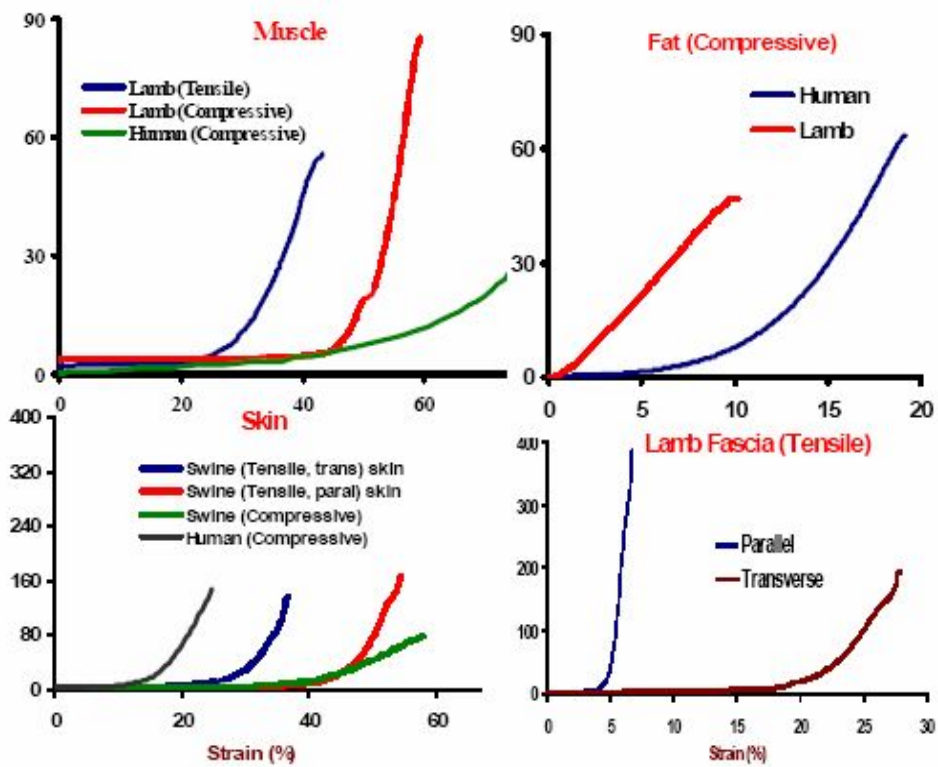
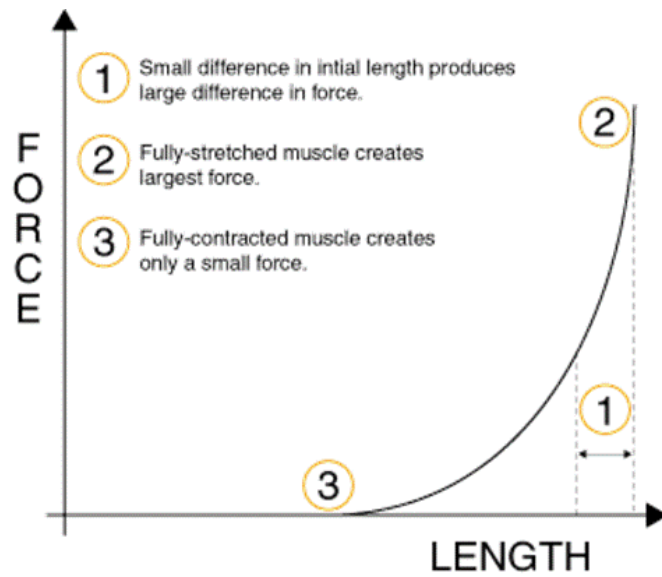


FIGURE 9.6 Several force-velocity curves for skeletal muscle. Shortening is most rapid when the muscle is loaded by a weight equivalent to that normally imposed by body structures.



Kaslarda kuvvet – uzunluk ilişkisi



Kaslarda kısalma hızı - yük ilişkisi

