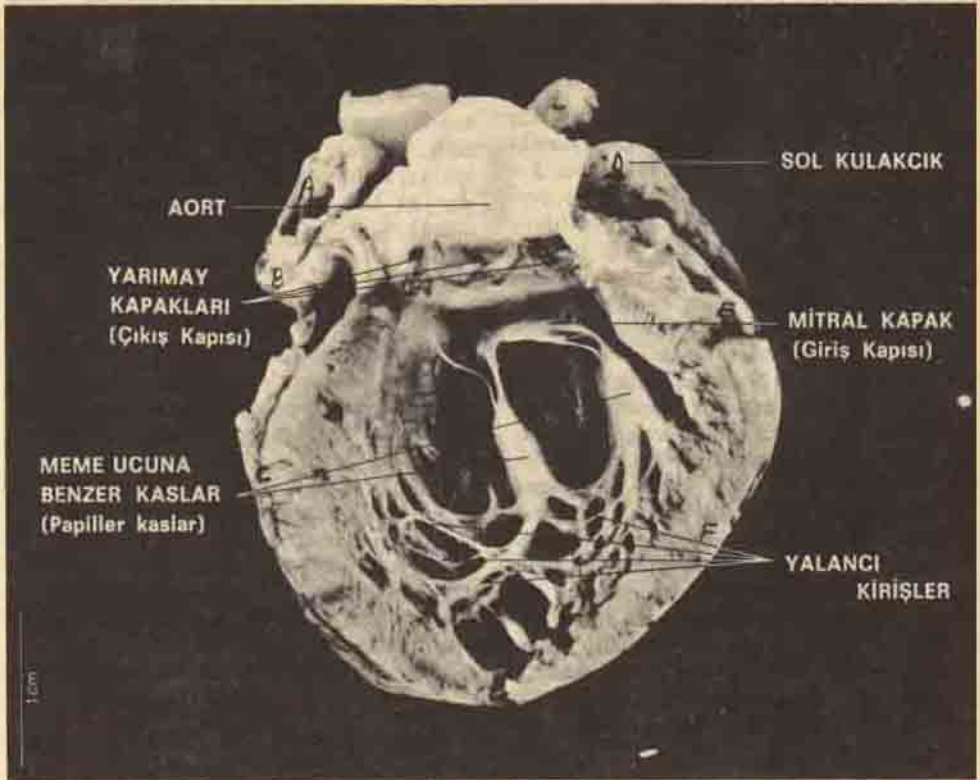


KALP NEDEN ÇARPAR?

Prof. Dr. PAUL D'ALCHÉ



Bir maymun kalbinin sol karıncığının içi görülüyor. Aksiyon akımının yayıldığı Purkinje Ağı «yalancı kirişler» yapar.

- *Pace-maker* denilen kalp çalıştırıcı piller ilk kez 1962 yılında ABD'de vücuda dikilmişti; o günden bu yana binlerce kalp hastası hayatlarını bu aygıtla borçlu bulunuyorlar.
- İnsan kalbi kendiliğinden dakikada 70 kere kasılır ki bu 24 saatte 100.000 den fazla vuruş demektir. Vücut kasları eksersiz sırasında aşırı çalışırken kalp vuruşlarının sayısı dakikada 200'ü geçebilir. Kalbin bu şekilde otomatik çalışması ve değişen şartlara uyabilme-

si bütün hayvanlarda görülür, hayvan ne kadar büyükse kalbi o kadar yavaş atar: bir farenin kalbi dakikada 400, bir filin kalbi ise dakikada 35 kere çarpar.

- Kalbin kimyasal etkilerle (ilâçlar) veya elektrik kuvvetlerle (*pace-maker* aygıtı) değiştirilebilen otomatik çalışması üzerindeki bilgiler gitgide artmaktadır. Bilim adamları bu olayı şimdi hücre düzeyinde inceliyorlar.

Kalp kan dolaşımını sağlayan iki pompadan yapılmıştır. Her pompa iki oda vardır: kulakcık ve karıncık. Kulakcık karıncığın kanla dolmasında yardımcı rolündedir: kulakcık kasılamazsa karıncığın kanla dolması ancak hafifçe aksar. Kan iki büyük toplar damarla (üst ve alt vena cava'lar) sağ kulakcığa gelir ve sağ karıncığa geçer, sağ karıncık kasılarak kanı akciğer atardamarına gönderir. Akciğerde CO_2 'i azalan ve O_2 'i artan kan dört akciğer toplardamarı yolu ile sol kulakcığa gelir. Sol karıncık kanı aort denen büyük atardamar yolu ile vücuda pompalar.

Her karıncığın bir giriş, bir de çıkış kapısı vardır; giriş ve çıkış kapılarında birer kapak bulunur. (Şekil 1). Giriş kapağı karıncık boşluğunun tepesinde yer alan meme ucu şeklindeki kas çıkıntılara (papiller kaslara) giriş telleri ile bağlanmıştır. Bir karıncık, meselâ sol karıncık, kasılmaya başlayınca giriş kapağı bir paraşüt gibi şişer. Karıncık-kulakcık yolu böylece kapanmış olur ve kanın karıncıktan kulakcığa geri dönmesi önlenir. O zaman karıncık içi basınç artmaya başlar. Bu basınç 80 mm. civaya erişince çıkış kapağı açılır ve kan 120-150 mm. civalık bir basınçla aort'a akar. Kan sol karıncıktan aort'a aktıkça karıncık içi basınç düşer ve nihayet çıkış kapağı kapanır. Giriş veya çıkış kapakları iyi kapanmazlarsa karıncığın içindeki kan artar ve karıncık genişler. Fakat kalp, belli bir sınırı aşmamak şartıyla, dinlenme halinde ne kadar genişleyebilirse o kadar iyi kasılır. Kapaklardaki hafif sızdırma kusurlarının etkileri karıncığın daha kuvvetli kasılması ile önenebilir.

Her iki karıncık birbirlerine «seri olarak» bağlanmıştır ve teorik olarak her kasılışda ikisi de aynı miktar kan atarlar: 80 cm³. Dakikada 70 atan bir kalp için bu, dakikada 5,6 litre kan demektir ki, bu miktar 70 kg. lık bir insanda bulunan bütün kan miktarıdır. Kanın sağ kulakcığa varışı ile O_2 almış bir halde dokulara geliş arasında 2,5 saniye geçer, bir eksersiz sırasında bu süre 1 saniyeye inebilir ve her karıncığın bir kasılışta attığı kan 80-120 cm³ ü geçebilir. Fakat kalp pompasını çalıştıran motör nerededir? Uzun bir süre, XVII. yüzyıldan XIX. yüzyıla kadar, kalbe gelen sinirlerin kalp atışlarını sağladığı sanıldı. Nihayet Haller 1750'ye doğru bütün sinirleri kesilerek vücut dışına çıkarılan bir kalbin de bir

süre kasılmaya devam ettiğini gördü. Geçen yüzyılda kurbağa kalbinin kendi sinir düğümlerinin keşfedilmesi ile tartışma alevlendi. Bugün tavuk embriyon'unda daha kalbe hiçbir sinirin bağlı olmadığı erken bir safhada kalbin kendi kendine kasıldığı bilinmektedir. Bu bakımdan hiç olmazsa omurgalılarda kalp vuruşlarını kalbe gelen sinirlerin sağlamadığına eminiz.

Damar ve sinirleri kesilerek vücut dışına çıkarılmış bir kalp, örneğin insan kalbi, içinden ya kan, ya da belli oranlarda sodyum, potasyum, kalsiyum ihtiva eden $0,1$ 'i bir serum geçirilmek şartı ile saatlerce, hatta günlerce çarpmaya devam eder. Demek ki kalbe otomatik çalışabilme ayrıcalığı tanınmıştır. Acaba nasıl oluyor da her türlü dış uyarıdan bağımsız olarak kalp kası belli aralıklarla kasılıp duruyor?

Üç Otomatik Odak

İlk akla gelen soru kalpde kasılmayı sağlayan özel bir doku olup olmadığıdır; yoksa otomatik çalışmayı kalp kasının her lifi mi sağlamaktadır? Mikroskop altında (Şekil 2) kalp kasının büyük bir kısmının dallanmalar gösteren çizgili kas liflerinden oluştuğu görülür. Her lif bir zarla çevrili kendi başına bir hücredir. Bu hücrelerin merkezinde bir çekirdek ve bunun da etrafında sitoplazma denen koyu sıvı bulunur. Sitoplazma'nın içinde bütün çizgili kas hücrelerinde olduğu gibi kasılmayı sağlayan lifçikler vardır (miyofibril'ler).

Kalp kesitlerinde iki tip dikkati çeker. Birinci tip lifçikleri çok az olan, aralarında gevşek ağ yapan, küçük hücrelerdir: Bunların görünümü embriyon'daki kalp kası hücrelerini andırır. Bu hücreler iki küçük düğüm halinde gruplaşmışlardır. Bunlardan biri üst ana toplardamarın sağ kulakcığa açıldığı köşede bulunur, buna Sinüs Düğümü deniyor. Diğeri, kulakçıklar arası duvarın en alt kısmında yer almıştır: Kulakcık - Karıncık Düğümü. Bu iki sinir düğümü düğüm dokusu'ndan oluşur. İkinci tip hücreler de kas tabiatındadır, bunların lifçikleri çok az olup iki çekirdekleri vardır. Liflerin çapı kalp kası liflerine göre çok büyük olup dalaşma göstermezler. Bunlar iletkin doku'yu yapar. Bu doku His demetini meydana getirir (His özel isimdir). His demeti Kulakcık - Karıncık Düğümü'nden başlar,

Elektrokardiogram :

Elektrokardiogram (kısa şekli ECG) kalp kasılmaları sırasında vücudun herhangi iki noktası arasında beliren potansiyel farklarını belirten dalgalardır. Millivolt seviyesinde olan bu potansiyel değişimleri kalp hücrelerinin bütünüdür yarattığı akımların vücudun az veya çok dirençli ortamlarından geçmesi ile meydana gelirler. ECG'da birbirini izleyen P, Q, R, S, T harfleri ile tanınan bir seri dalga bulunur. Farklı kişilerden alınan ECG'lerin karşılaştırılmasını kolaylaştırmak için elektrod'lar vücudun belli noktalarına konmaktadır (sol ve sağ bileklere, sol ayak bileğine ve göğüs üzerinde kalbe yakın noktalara). Bu elektrod'lar dalgaları kaydedecek bir aygıtla bağlıdır. Bu çeşitli dalgaların frekansına, yerine, şekline, yüksekliğine ve süresine bakılır. Kalp hastalıkları uzmanı bu şekilde kalp hastalıklarını tanımasına gidebilir, bu tanı sonra diğer metodlarla kesinleştirilecektir.

Normal ECG

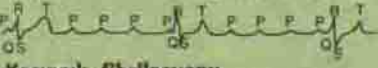


Anormal ECG örnekleri :

Karıncıktan gelen ekstrasistol (E) salvosu



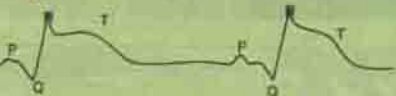
Kulakçık-karıncık düğümü bloku



Karıncık fibrilasyonu



Yeni bir enfarktüs (Kalbi besleyen bir damarın tıkanması ile kalp kasının bir bölgesinin ölmesi)



Düzensiz ritim gösteren bir ECG ve pace-maker aygıtının kalbi çalıştırmaya başlaması —Oktan itibaren— bu pace-maker ancak iki kasılma arasındaki zaman 0.82 saniyeyi geçerse çalışmaya başlamaktadır.



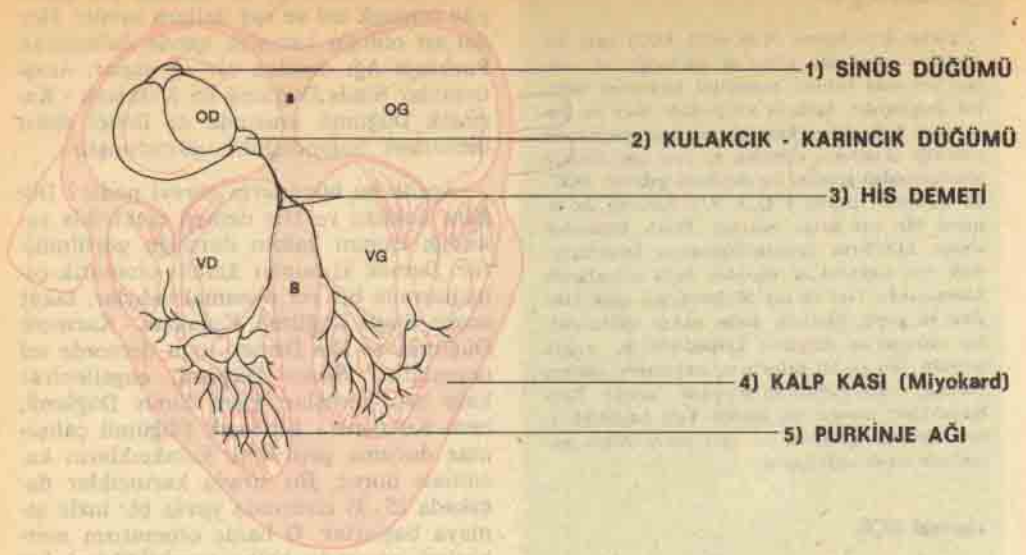
karıncıklar arası duvar üzerine ata biner gibi binerek sol ve sağ dallara ayrılır. Her dal ait olduğu karıncık içinde dallanarak Purkinje Ağı denilen bir ağ yapar. Araştırmalar Sinüs Düğümü ile Kulakçık - Karıncık Düğümü arasında da iletili doku demetleri bulunduğunu göstermiştir.

Acaba bu hücrelerin görevi nedir? Düğüm dokusu ve His demeti elektrikle yakıldığı zaman kalbin durduğu görülmüştür. Demek ki bunlar kalbin otomatik çalışmasında bir rol oynamaktadırlar, fakat acaba Sinüs Düğümü, Kulakçık - Karıncık Düğümü ve His Demeti aynı derecede mi önemlidir? Sinüs Düğümü engellenirse kalp hızı yavaşlar. Hem Sinüs Düğümü, hem Kulakçık - Karıncık Düğümü çalışmaz duruma getirilirse kulakçıkların kasılması durur. Bu sırada karıncıklar dakikada 25-35 civarında yavaş bir hızla atmaya başlarlar. O halde otomatizm merkezleri arasında kalbe verebildikleri hız bakımından bir önem sırası vardır: Sinüs Düğümü, Kulakçık - Karıncık Düğümü, His Demeti. Kalbi en hızlı çalıştırabilen Sinüs Düğümüdür: Sinüs Düğümü kalbin ana otomatizm merkezidir. Kulakçık - Karıncık Düğümü ve His Demeti hücreleri ikincil merkezlerdir. Sinüs Düğümü durursa kalbi onlar çalıştırmaya başlar.

Bir Tetik: Sinüs Düğümü Hücrelerinin Kendiliğinden Elektriklenmesi

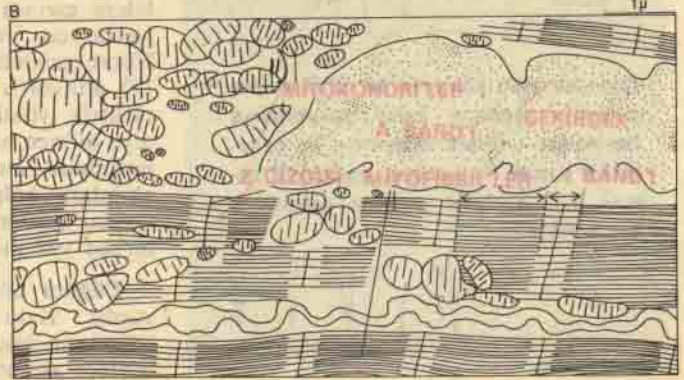
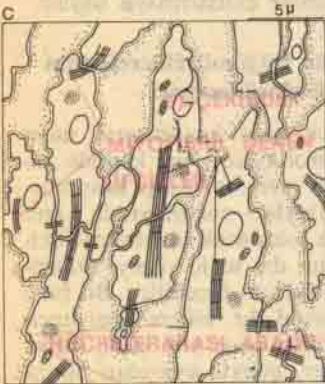
Bu düğümler kalp kasılmasını nasıl sağlıyor? Elektrofizyoloji bu konuda bize temel bilgiler veriyor. Kalp kası hücrelerinin dış yüzeyleri pozitif yüklerle kaplı olup hücre içine sokulacak bir mikroelektrod hücre zarının dış ve iç yüzeyi arasındaki potansiyel farkını ölçebilir: Bu fark 90 milivolt civarındadır. Hücre uyarılınca bu potansiyel farkı önce yok olur, sonra da tersine döner, çünkü uyarıdan sonra hücre zarının dışı negatifleşmiştir (depolarizasyon veya kutupsuzlaşma olayı). Hücre zarındaki potansiyel değişimi 120-130 milivolt'u bulur. Hücre zarındaki bu elektrik yükü değişimleri aksiyon akımı diye bilinen hayat elektrikliğini yaratır. Kalp kasılması sırasında kaydedilen aksiyon akımları kalp dokularına göre büyük farklar gösterir. Aksiyon akımının süresi birkaç yüz milisaniye'yi bulur.

Düğüm hücrelerinde şöyle bir özellik vardır: Kalp dinlenme halinde iken bu bölgelerin hücre zarı kararsızlık gösterir; böylece aksiyon akımı dalgaları arasındaki



OD : SAĞ KULAKCIK
 OG : SOL KULAKCIK
 VD : SAĞ KARINCIK
 VG : SOL KARINCIK
 S : KARINCIKLARARASI DUVAR
 s : KULAKCIKLARARASI DUVAR

A — TAVŞAN KALBI KAS LİFLERİ
 B — KALP KASI LİFLERİNİN ŞEMASI
 C — SİNÜS DÜĞÜMÜ HÜCRELERİNİN ŞEMASI
 D — PURKİNJE AĞI HÜCRELERİNİN ŞEMASI



Kalp kası, düğüm dokusu ve iletim dokusu. Kalbin en büyük kısmı miyokard denilen, daldanmış hücrelerden oluşmuş bir çizgili kasdır. (A ve B) Daha az yer tutan diğer iki doku önemli bir rol oynarlar: düğüm dokusu (C) kalbin otomatik çalışmasını sağlar, iletim dokusu ise (D) uyarının kalpde hızlı ve düzenli yayılmasına imkân verir. Düğüm dokusu iki hücre kümesi yapar: Sinüs Düğümü ve Kulakçık - Karıncık Düğümü. İletim dokusu bu iki düğüm arasında demetler yapar ve Kulakçık - Karıncık Düğümünden sonra His Demetini ve Purkinje Ağını oluşturur.

çizgi sıfırda kalacağı yerde gitgide yükselir. İşte kalbin otomatik çalışmasını sağlayan bu olaydır. Kalp dinlenmekte iken Sinüs Düğümü hücrelerinde kendiliğinden gitgide yükselen akım bir eşik değere ulaşınca kasılmayı başlatan tetik çekilmiş olur. Sinüs Düğümünde akımın yükselişi daha dik olduğundan kalp hızı da daha yüksektir.

Düğüm hücrelerinde kendiliğinden elektriklenme nasıl meydana geliyor? Kalp kası hücreleri dışlarındaki sıvıya göre daha çok K ve daha az Na ve Ca ihtiva ederler. Elektriklenme başlarken hücre zarının Na'a geçirgenliği hızla artarken K'a geçirgenliği aynı anda azalır. Geçirgenlik değişiminin derin sebeplerini henüz bilemiyoruz.

Uyarı Kalbe Nasıl Yayılır?

Uyarılmış bölgelerde zarın dış yüzeyi negatifleşmiş, uyarılmamış bölgelerde ise + kalmıştır; zarın iç yüzü için bunun aksi söylenebilir. Bu şekilde doğan potansiyel farkları lokal elektrik akımlarına sebep olur. Uyarılan bölgenin önünde bu akımlar rastladıkları zarları elektrikleterek onları uyarılma eşiğine getirirler. Uyarılan bölgenin arkasında ise akımlar dokuları uyarılma eşiğine getiremeyecek kadar zayıftır. Bu şekilde aksion akımı hücreden hücreye kendi kendini yeniler (autoregenerative) bir şekilde ve geriye dönmeksizin ilerler.

Uyarı dalgası Sinüs Düğümündeki otomatik hücrelerden çıkarak Kulakçık - Karıncık Düğümüne gelir, burada belirli bir şekilde yavaşlar, sonra iletili dokuya geçer ki bu dokunun geniş çaplı hücreleri uyarıyı çok hızla iletir (2-4 m/san.). Uyarı buradan kalp kası hücrelerine erişir ve burada çok daha yavaş ilerler (0.3-0.5

m/san.) İletim dokusu, kalbin en etkili bir şekilde kasılmasını sağlayacak şekilde dağılmıştır. İnsan kalbinde ilk kasılan yer karıncıklar arası duvarın sol yüzünün ortasıdır; en son kasılan yer ise karıncıkların kulakçıklara komşu bölgeleridir. Karıncıkların uyarılması için geçen toplam zaman 100 milisaniye'den azdır.

Aksion Akımı Kasılma Mekanizmasını Harekete Geçirir

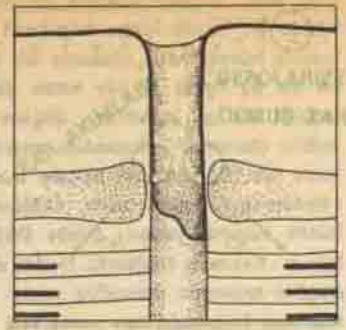
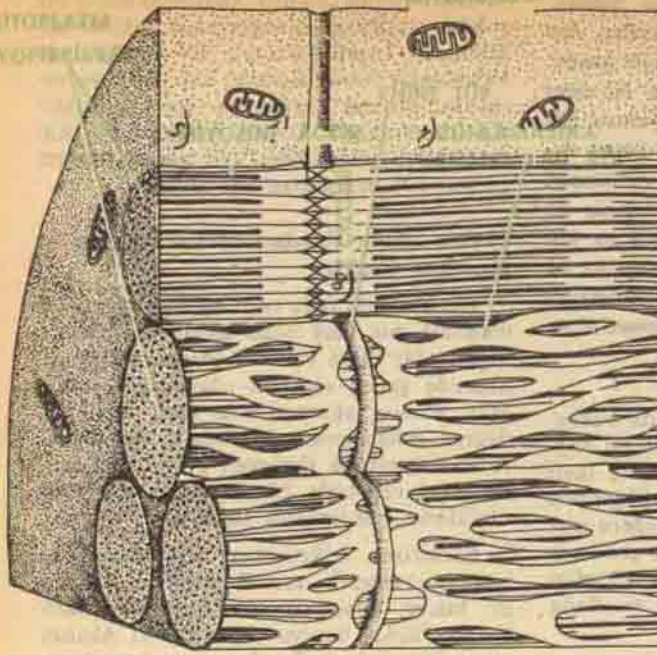
Bir elektrik olay olan aksion akımı ile mekanik bir olay olan kasılma arasında ne gibi bir ilişki vardır? Hücre kasılması hücrede geçen elektrik olaylardan sonra olur. Aksion akımı yoksa veya belli bir değere erişmemişse kasılma olmaz. Hücre zarı üzerinde ilerleyen bir aksion akımı nasıl oluyorsa hücre içinde yer alan lifçiklerin kasılmasını sağlıyor?

Elektron mikroskop gösteriyor ki kalp hücrelerinin zarı Z çizgileri hizasında hücre içine uzanmaktadır. Bunlara Enine Tüpler deniyor (Şekil 3A) Aksion akımı hücre zarından bu zarın içte devamı demek olan Enine Tüplere geçer. Bundan sonra lifçikler civarında salgılanan bir madde onların kasılmasına sebep olmaktadır.

Kalsiyum'suz Kasılma Olamıyor

Bu salgılanan madde nedir ve nereden gelmektedir? Akla önce Ca gelir, çünkü Ca'suz bir sıvı ile beslenen izole kalplerde aksion akımı kasılmaya sebep olamıyor. Fazla Ca'lu bir ortamda aksine kasılmalar daha şiddetli oluyor. Kasılmanın olabilmesi için lifçikler etrafında 10^{-6} mole/kg. kadar serbest Ca bulunmasının yeteceği hesaplanmıştır. Halbuki sitoplazma'daki ionize Ca miktarı 10^{-9} mole/kg. kadardır, bu miktar kasılma için yetersizdir. Uyarı sırasında zarın Ca'a geçirgenliği arttığı için içeri Ca hücum eder, bu hücumun hızı saniyede cm^2 başına 10^{-12} mole'dür ki bu da yetersizdir, o halde Ca nereden geliyor?

Elektron mikroskop her lifçik etrafında Uzunlamasına Kanalcıklar Ağı (longitudinal reticulum) denilen bir kanalcık şebekesi bulunduğunu meydana koydu (Şekil 3A) Z çizgileri hizasında bu kanalcıklar genişler ve Terminal Kesecikleri yapar ki bunlar da Enine Tüplere sıkıca yapışmıştır. Kimyasal analizler Uzunlamasına Kanalcıklar ve Terminal Kesecikler içinde sitoplazma'ya göre 1000 kere da-



Kasılma mekanizması

A — Miyofibril'leri ile beraber bir kalp kası lifi. Z çizgileri hizasında hücre zarı içeriye bükülerek enine tüpleri yapar. Miyofibril'ler etrafında uzunlamasına kanalcıklar ağı bulunur. Enine tüpler ile uzunlamasına kanalcıklar birbiri ile yakın ilişki içindedir.

B — Aksiyon potansiyel'i enine tüpler boyunca ilerler ve uzunlamasına kanalcıklarda bulunan Ca'un miyofibril'lere doğru yayılmasına sebep olur.

C — Ca iyonları actin-miyozin arasında köprüler oluşmasını engeller.

SARKOMER



ha fazla Ca bulunduğunu gösterdi. Şimdi iş aksion akımının Ca iyon'larını arttırdığını göstermeye kalmıştı. Lee ve arkadaşları elektrikle uyarmanın Uzunlamasına Kanalcık duvarlarının Ca geçirgenliğini arttırdığını ve böylece Ca'u lifçiklere doğru yaydığını ispatladılar (Şekil 3 B).

Ca'un kasılmadaki rolü nedir? H. E. Huxley (1954) zamanındanberi bilinmektedir ki bir kasın kasılması actin ve miyozin moleküllerinin birbirleri üzerinde kaymalarına bağlıdır (Şekil 3 C) Elektron mikroskopu kasılma sırasında actin ve miyozin arasında düzenli aralıklarla köprülerin oluştuğunu gösterdi. Ca bu köprülerin oluşmasına engel olarak actin liflerinin kaymasını kolaylaştırmaktadır. Bu iş için gerekli enerjiyi ATP (adenosin tri phosphate) sağlar, ATP ise miyozin lifleri üzerinde bulunan ve normalde Mg tarafından engellenen bir enzim (ATPase) yardımı ile oluşur.

ATP'den serbest kalan kimyasal enerji hareket ve ısı enerjisine dönüşür. Aksion akımı kesilince Uzunlamasına Kanalcıkların Ca'a geçirgenliği çok azalır; Ca bu kanalcıklara geri giremez ve yavaşça Terminal Kesecikler içine geçer, bu olay kas lifinin gevşemesini sağlar. Gevşeyen kasda Mg yeniden ATPase'i engeller.

Kalp Ritim Bozuklukları ve Suni Pace - Maker

Kalp vuruşlarındaki bozukluklar çok çeşitlidir, biz başlıcalarından söz edeceğiz. Erişkin bir insanda kalp dakikada 60-100 atar, Sinüzal Taşikardi kalp hızının 100/dak. üzerinde oluşu. Sinüzal Bradikardi bu hızın 60/dak. altına düşmesidir. Aritmi Sinüzal, kalp ritminin hafifçe düzensiz oluşudur. Epey sık rastlanan bu haller, aşırı olmamak şartı ile, tehlikeli değildir.

Ekstrasistol'lere çok sık rastlanır, bunlar yeni bir otomatizm odağının doğmasına bağlı olarak zamanından önce gelen kalp atımlarıdır. Kalbin herhangi bir noktasında yeni bir otomatizm odağı doğabilir. Ekstrasistol'ler çoğu zaman tehlikesizdir; bunlarda «kalbin geçici bir deliği» söz konusudur.

Daha tehlikeli olan iletim blok'larıdır. Aksion akımının ilerlemesi His demetinin ikiye ayrılma noktasının üzerinde (Kulakçık - Karıncık bloku) veya altında (dal bloku) yavaşlama veya durur. Bu Blok (iletimin yavaşlama veya durması) geçici veya devamlıdır. Blok'un ensık rastlanan sebebi kalbi besleyen damarların belli bir

yaştan sonra daralmasıdır. Bu gibi hastalarda, kalbin kasılma gücü normal olmak şartıyla, kalbi suni olarak uyuracak bir aygıtın (pace-maker aygıtı) vücuda dikilmesi gerekli olabilir.

Pace - maker aygıtı elektrik uyarıları yaratır. Her uyarı 2 mili-saniye sürer ve 10 mA civarındadır. Dakikada 70-90 uyarı veren değişmez ritim'li pace-maker'lar olduğu gibi ancak hastanın kalbi belli bir hızdan daha yavaş atmaya başlarsa akım veren geçici pace-maker'lar da vardır. Aygıtın kalbe değen iki elektrodu bulunur. Aygıt vücut dışından kullanılmak istenirse bir boyun toplardamarı yardımı ile sağ kulakçık veya karıncığa iki elektrod sokulur. Hastanın vücudunda devamlı kalması istenirse minicik pilleri ile beraber 100-200 gram kadar gelen pace - maker aygıtı hastanın karın boşluğu içine konulabilir ve göğüs açılarak elektrod'lar sol karıncık duvarı üzerine dikilir. Burada önemli bir problem enerji kaynağıdır. Civalı pillerin ömrü oldukça kısadır, her 2-3 senede bir ameliyatla yerlerine yenilerinin konması gerekir. İzotop'lu bataryaların ömrü çok daha uzun olduğundan yakın bir gelecekte civalı piller yerine bunlar kullanılacaktır. Fransa'da Laurens ve arkadaşlarının geliştirdiği plutonium-238 izotop'u ile çalışan minyatür jeneratör 10 sene kadar görev yapabilmektedir. Birgün belki de bir insanın kalbinden alınan sinüs hücrelerini bir diğer insan kalbine aşılama mümkün olacaktır.

Fibrilasyon kalbin değişik bölgelerinin birbirlerinden habersiz kasılma durumuna geçişidir. O zaman kalp kası pompa görevini yapamaz, kalp kası kasılacağı yerde yaprak gibi titrer. Fibrilasyon yalnız kulakçıklarda olursa (auriculaire fibrilasyon) o kadar tehlikeli değildir, çünkü Kulakçık - Karıncık Düğümü görevi üzerine alabilir. Bununla beraber artık kulakçıklar karıncıkları duyarlı bir şekilde kanla dolduramaz. Karıncık fibrilasyonu (ventriküler fibrilasyon) çok tehlikeli olup ani ölümlere sebep olur. Bu hastaları kurtarmak için kalbi bir an önce fibrilasyon halinden çıkarmak gerekir. Bunun için iki geniş elektrod yardımı ile göğüsten yeterli kadar kuvvetli ve kısa süreli bir elektrik akımı geçirilir; bu sırada kalbin bütün hücreleri eş zaman olarak uyarılmış olur. Genellikle bu uyarımdan sonra kalp normal atmaya başlar.

LA RECHERCHE'den
Çeviren: Dr. SELÇUK ALSAN