

## KARDİYAK DOPPLERİN GELİŞİMİ The development of cardiac doppler

Sadık Kara<sup>1</sup>, İnan Güler<sup>2</sup>

**Özet:** SONAR sistemi, 1920 den önce su altı derinliğini tesbit için ortaya konulmuştu ve II. Dünya savaşında da bu sahada yeni ilerlemeler kaydedildi. Bundan sonra Avrupalı ve Amerikalı bilim adamları tıbbi teşhise dayalı ultrasonik klinik uygulamalara yöneldiler. Ve 1955 den sonra Leksell Ekoensefalografiyi klinik uygulama alanına soktu. Hertz ve Böhme 1959'da doğrudan kayıt yapabilen mürekkepli ekokardiyografi için bir metod geliştirdiler. Gerçek zaman tarayıcıli kardiyak sistemlerin geliştirilmesine ilk adım 1972'de yine Hertz ve Lindström tarafından atıldı. 1985 den sonra ise ultrasonik görüntüleme ve Doppler cihazları geliştirilmiş şekilde tıbbi sahada geniş bir kullanım alanı buldular.

**Anahtar Kelimeler :** Ultrasonik doppler, Ekokardiyografi

**Summary:** The SONAR (Sound Navigation and Ranging) system was an evaluation of the underwater soundings before 1920 and had a great impact during World War II. The European and American investigations were directed toward specific problems that are the clinical applications of ultrasound in medical diagnostics. From 1955, Leksell used echoencephalography in clinical practice. In 1959, Hertz together with Böhme developed a method for direct recording of the echocardiogram on a direct writing ink jet electrocardiograph. During 1972 Hertz and Lindström, were able to obtain the first real-time cardiac ultrasound scanner and after 1985, have an important step in the development of an ultrasonic and Doppler clinical useful system.

**Key Words:** Doppler ultrasound, Echocardiography

Günümüzde ultrasonik Doppler sistemleri, akışkanlarda ve özellikle tıpta geniş bir kullanım sahası bularak damarlarda akmakta olan kan akışına ait çeşitli bilgilerin elde edilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla ilk olarak yaklaşık 33 yıl önce kullanılmasına rağmen, taşınabilir Doppler kan akış ölçme cihazları ancak son 13 yıllık bir süre içinde geliştirilmiştir. Geliştirilen bu cihazlar sayesinde çok ince damarlarda bile kan akış hızı ve damar çapı ölçülebilmekte, damarda bir tıkanıklık veya genişleme varsa bu kolaylıkla tesbit edilebilmektedir.

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 38090 KAYSERİ  
Elektronik. Dr.Araş.Gör.<sup>1</sup>,  
Sütçü İmam Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu K. MARAŞ  
Biyomedikal Grup. Doç.Dr.<sup>2</sup>.

Geliş tarihi: 18 Ağustos 1994

### Doppler etkisi

Bir gözlemci, sabit frekansta işaret yayınlamakta olan bir dalga kaynağına doğru hareket ederken ölçtüğü frekans, yayınlanan frekanstan farklıdır. Eğer kaynak ve gözlemci birbirlerine yaklaşan tarzda hareket ediyorsa, gözlemci tarafından ölçülen frekans, yayınlanan işaretin frekansından daha büyük, eğer kaynak ve gözlemci birbirlerinden uzaklaşıyorlarsa, gözlemci tarafından ölçülen frekans yayınlanan işaretin frekansından daha küçüktür. Bu basit fakat önemli kural Doppler etkisi olarak bilinir ve ilk olarak 1842 yılında Avusturyalı fizikçi Christian Doppler tarafından ortaya atılmıştır (1).

Doppler etkisinin prensibi tıpta uygulanırken vücut içerisine bir dalga gönderilir ve vücuttaki hareketli parçacıklardan (kan hücreleri) yansıyan işaret algılanarak bu işaretin frekansında ne kadar

değişiklik olduğu aşağıdaki formülle tespit edilir.

$$f_d = f_t - f_r = \frac{2 f_t v \cos\theta}{c}$$

Burada  $f_d$  ultrasonik dalganın frekansındaki kayma miktarı,  $f_t$  gönderilen dalganın frekansı,  $f_r$  yansıyan dalganın frekansı,  $v$  hareketli cismin hızı,  $c$  ultrasonik dalganın ortamdaki hızı ve  $\theta$  ultrasonik dalganın yönü ile hareket yönü arasındaki açıdır (1).

Pratikte kan içinde birden fazla hareketli parçacık olduğu ve bu parçacıkların herbiri farklı hızlarla hareket ettiği için, Doppler fark frekansı  $f_d$ , tek bir frekans olmayacak bir frekanslar spektrumu olacaktır. Dolayısıyla Doppler tekniği yardımıyla kan akışının incelenmesi için bu sınırlı bantlı işaretin incelenmesi gerekmektedir.

Önceleri Doppler cihazları sürekli dalgalı cihazlardı ve yöne duyarlı değildi. Fakat bu sahada epeyce gelişme kaydedilerek Doppler sistemleri yöne duyarlı hale getirilmiş ve bu sayede ters ve düz akış tespit edilir duruma gelmiştir. Doppler sistemlerinin genelinde gerçek zamanda spektrum analizi yapabilen donanımlar mevcuttur. Bu sayede Doppler işaretinin yorumlanması büyük ölçüde kolaylaşmaktadır. Damarın herhangi bir yerinden örnek alıp onu analiz etmek mümkün olmaktadır (2).

Uygulama esnasında seçilmesi gereken alt frekans sınırı ölçüm yapılacak damarın uzaklığına ve çapına bağlı olarak belirlenir. Mesela ince damarlarda kan akış hızını ölçebilmek için ultrasonik dalga boyu damar çapından daha küçük olmalıdır. Bu da frekansın yüksek olması anlamına gelir. Seçilebilecek üst sınır ise kabul edilebilir güç seviyeleri ve hasta emniyeti dikkate alınarak belirlenir. Frekans arttıkça zayıflama ve kayıplar hızla artacağından uygulamanın yapıldığı dokuya bağlı olarak belli bir frekans sınırının üstüne çıkılamaz (3).

#### Tıpta kullanılan ultrasonik frekanslar

20 kHz den daha büyük olan frekanslara ultrasonik frekans denir ve insan kulağı bu frekansları

duyamaz.

#### Tıpta 3 çeşit ultrason kullanılmaktadır:

1. *Ultrasonik enerji (Güç):* Cerrahi ve endüstride kullanılır
2. *Terapatik ultrason:* Fizik tedavide kullanılır
3. *Teşhis amaçlı kullanılan ultrason*

Ultrasonik şiddet, ultrasonik dalga uygulanan alanın belirli bir kesitinden cm. başına kaç watt'lık güç geçtiğini gösterir. Tıpta kullanılan çeşitli ultrason tiplerinin şiddetleri de değişiktir ;

*Ultrason power* : 10 watt/cm<sup>2</sup>  
*Terapatik ultrason* : 1-3 watt/cm<sup>2</sup>  
*Diagnostik ultrason* : 1-100 miliwatt/cm<sup>2</sup>

Ultrason, mekanik ses dalgaları olduğundan iletilmesi için sıvı veya katı bir ortama ihtiyaç duyar. Bu özelliği ile elektromanyetik dalgalardan farklılık gösterir. Zira elektromanyetik dalgalar boşlukta yayılabilirler.

Ultrason dalgaları, aynı işitebildiğimiz ses dalgaları gibi, aynı fiziksel kanun ve formüllere tabi olup kırılıp yansılarsa da, ultrasonun yüksek frekansı nedeniyle ses dalgalarının aksine, katı ortamdan havaya geçmeden, aynı ortam içinde yansır. Dolayısıyla oluşumları katı ve sıvı maddeler içerisinde mümkün olur. Hava ise ultrasonik dalganın iletimini güçleştirir (4).

İnsan vücudunda ultrason dalgaları çeşitli dokular içerisinde farklı hızlarla yayılırlar. Bu hız dokunun yoğunluğu, esneme yeteneği ve ısısına bağlıdır. İnsan dokusunda 2.5 MHz'lik bir frekansta ortalama ses hızı 1540 m/s dir. Uygulanan frekans arttıkça kayıplar ve zayıflama hızla artacağından uygulanan dokuya göre belirli frekans sınırlarının üzerine çıkılamaz.

Ultrasonik görüntüleme cihazları vücuttan yansıyan dalgaların yansıdıkları noktaların koordinatlarını hesaplar ve o bölgenin iki boyutlu görüntüsünü oluşturur. Doppler cihazlarında ise amaç yansıyan işaretin frekansında bir kayma olup olmadığını tespit etmektir (5).

### Konuyla ilgili yapılan çalışmalar

II. Dünya savaşı sırasında iki farklı teknik sahada yeni ilerlemeler kaydedildi. Ultrasound ve mikrodalga teknolojisi, bunların, tıbbi teşhise dayalı ultrasonun gelişmesinde büyük tesiri olmuştur. Bu gelişmeler SONAR ve RADAR dır. Askeri sonar sistemi 1920 den önce, Langevin tarafından sualtı derinliği tespit cihazı olarak ortaya konulmuştur. Eko tekniği geliştirilmiş ve uzaklık, B-Mod ekranda görüntülenmeye başlanmıştır. Bu zamanda kullanılan ultrasonik frekans 50-100 kHz arasındaydı ve darbe genişliği 0.2sn idi (6).

Radar terimi 1941 de, yansıyan radyo dalgaları ile uçakların varlığını belirlemek amacıyla kullanılan radyo cihazı olarak, Birleşik Devletler denizciliği tarafından ortaya kondu. Zaten 1887 de Hellmuth Hertz' in dedesi Heinrich Hertz radarın iki esasını, yansıyan radyo dalgalarını kullanarak bulmuştu ve onlar 1947 de Fink tarafından ışığa dönüştürüldü. 1934-1939 arasında çok kısa kısa yükselme zamanlarını (transit time) ölçmek için, gelişmiş darbe devrelerini kullanmayı mümkün kılan elektronik ilerlemeler kaydedildi. Bu potansiyelleri bir cihazda bir araya getirerek düşman aktiviteleri hakkında bilgi tespiti yapılabilmıştır. Bu tip istasyonlar ilk defa 1938 de kurulmuştur.

Elektronik darbe devreleri kullanan böyle yeni teknoloji sonar cihazına da uygulandı. Bu gelişmeler, çok kısa mesafeleri ölçmek için ultrasonik darbe-yankı (pulse-eko) tekniği kullanmayı mümkün kıldı. Gerçekte ultrason

tekniki, malzemelerdeki çatlakları tespit etmek için uygulanabiliyordu. Bu teknik, savaş devam ederken bağımsız olarak Sproule tarafından İngilterede ve Firestone tarafından birleşmiş devletlerde geliştirilmiştir (6).

### Teşhis ultrasonunda öncü grup

Görme problemlerinin Radarla çözülmesiyle ilham alan bir çok ilim adamı, yansıyan ultrasonik dalganın, insan vücudundaki iç organların ve yapıların belirlenmesinde kullanılabileceğini düşündüler. 1950 yıllarında Amerika ve Avrupada farklı guruplar birbirinden bağımsız olarak oldukça farklı gayelerle değişik sahalarda araştırmalara başladılar. Kısaca II. Dünya savaşıdan sonra gelişmiş elektronik sahada Birleşmiş devletler önderliğiyle deneyler başlamıştı. Bu öncü gurup ve onların uygulama alanları tablo 1 de görülmektedir. Amerikanın ilk araştırmaları çok geneldi ve ilk on yılda tıbbi teşhis rutininde pratik uygulamalar için sonuçsuzdu.

Avrupalı araştırmacılar klinik özel problemlerine doğru yöneldiler ve çalışmaları Amerikan araştırmacılarınkı kadar teorik değildi. Bu sebepten dolayı teşhise dayalı ultrasonik klinik uygulamalarda Avrupa Amerikadan daha öndeydi. Perikardial ve mitral kapak hastalıkları 1954 den itibaren teşhis edilmeye ve çözümlenmeye başladı. 1955 ten itibaren ise Leksell, ekoensefalografiyi klinik uygulamada kullandı (6,7).

Tablo 1. Teşhis ultrasonunda öncü grup

Ülke	Çalışma grubu	Hedeflenen nokta	YIL
U.S.A.	Ludwing ve Struthers	Böbrek taşları	1949
U.S.A.	Wild ve Reid	Doku yapıları	1950
U.S.A.	Howry ve Bliss	Kesit alanları	1952
U.S.A.	Mundt ve Hughes	Göz hastalıkları	1956
Avrupa	Edler ve Hertz	Kalp yapıları	1954
Avrupa	Leksell	Orta çizgi eko	1955
Avrupa	Donald ve Brown	Doğum bilgisi	1958

Mayıs 1953 de, Hertz ve Edler, kalp araştırması için kullanılan ultrasonun imkanlarını tartışmak için buluştular. Toplantı fizikçi Jan Cederlund tarafından düzenlenerek mitral kaçırmanın sebepleri tartışılmıştı. 1950 den önce, (sol ventriküler anjiyografiden önce) mitral kaçırmanın tam teşhisi için bir metod yoktu. Problem çok önemli idi. Çünkü o zaman başarıyla ameliyatı yapılabilen tek kalp hastalığı, mitral daralması idi. Sol ventrikülden geriye sol atriyuma kan kaçtığı zaman sol atriyumun büyüdüğü düşünülürdü. Belki bu büyüme, bir eko metodu kullanılarak ölçülebilirdi.

Hertz, Firestone tarafından Amerika'da geliştirilen zarar vermeden malzeme testi yapan ultrasonik reflektoskop aleti ile ilgili bilgi topladı, Edler'le buluştu ve zararsız malzeme testi yapan ilk ultrasonik reflektoskopun Tekniska röntgen merkezine teslim edildiğini öğrenerek, bu aleti kendi kalbinde denedi (Şekil 1). Deneyden olumlu netice aldı (1953).

Lund daki üniversitede hastanenin kalp laboratuvarında bazı hastalar üzerinde araştırma yapıldı. Mitral kapağı hastalıklı bir hastada üst göğüs duvarından 10 cm derinlikte bir eko tespit edildi (Şekil 2). Bu eko sinyali kullanılan bir A taramalı osiloskopta X eksenini boyunca geri ve ileri hareket etti ve kalp aktivitesi ile bu hareket arasında bir ilişki olduğu açıkça görüldü. Sonuç daha ileri çalışmaları uyardı (3,6).

#### İlk deney

Hertz ve Edler'in araştırmalarında ilk adım; kalp duvarı/kan ara yüzeyinin ultrasonik dalgayı, kaydedilen ve belirlenebilen bir mesafe gibi yansıttığını göstermek oldu. Bu bulgu, kan ve kas arasındaki akustik empedansın küçük oluşundan dolayı şüpheli kabul edildi. Ultrasonik frekansın seçimi nufuz etme ve seçicilik arasındaki bir uyuşma olarak ilk sırada önem taşıyordu. Bunu göz önüne alarak Hertz kardiyoloji için optimum olan 2.5 MHz lik bir ultrasonik frekansı seçti. Çaprazvare kesilmiş, izole edilmiş kalp preparatını kullanarak kalp duvarı ile kapalı kan dolu eğriliklerin arasındaki arayüzeyin yerlerini belirlemenin mümkün olabileceği gösterildi ve

kalp duvarındaki kalınlık ve interventriküler septum ölçülebildi. Dahada ilerisi bir pıhtıdan alınan ekolar kaydedildi. Ve damar duvarları ile sıvı arayüzeyi gösterildi (3, 7).

Bu izole edilmiş kalp preparatındaki deneylerden sonra hastalar üzerinde araştırmalar başladı. Sol 4. interkostal boşluğa probun yerleştirilmesiyle eko sinyalleri kalp şeklinin arka bölümüne karşılık düşen bir derinlikten alındı. Eko sinyallerinin A-taramalı bir osiloskopta görülebilir bir tarzda izlenmesi dönüştürücü yüzeyi ile yapıların verdiği eko arasındaki mesafe hakkında fazla bilgi vermedi. Bundan dolayı bu hareketin sürekli bir kaydı gerekti ve M-Mod kaydedici geliştirildi (8).

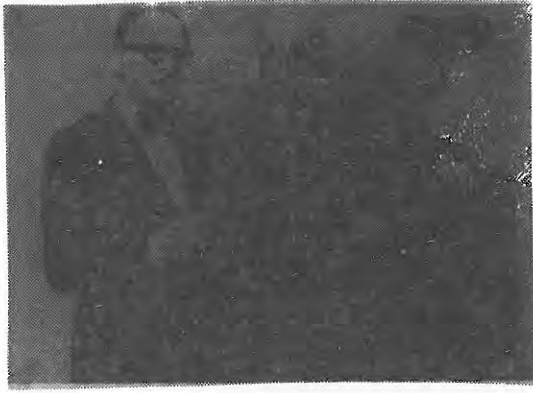
#### Hastalar üzerinde yapılan araştırmalar

29 Ekim 1953 de, ilk ekokardiyogram kaydedildi. Şekil 3 ilk Ultrasonografi eğrilerini göstermektedir. Aortik kaçırma durumunda arka kalp duvarının sistolik hareketinin genişliği %50 daha büyüdüğünü, kalp çıkışının arttığını bulmak çok ümit verici idi (Şekil 4 ve 5). Birkaç haftalık çalışmadan sonra mitral kapak hastalığı olan kişilerden anterior mitral kapakçığından alınan ekolar kaydedildi. Fakat Hertz ve Edler bunun mitral yaprakçıktan olduğunu bilmiyorlardı (6).

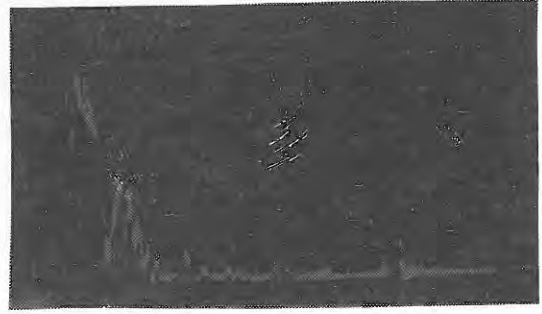
Alınan sonuçlar 10 Mart 1954 de " Kalp duvarlarının hareketlerinin sürekli kaydı için ultrasonik reflektoskopun kullanımı " başlığı ile yayınlandı. Bu çalışmalar ekokardiyografinin klinik sahadaki kullanımında daha ileri gelişmelerin temelini teşkil etti. Kasım 1953 de, Erlangen'de ilk elde edilen sonuçlar Siemense takdim edildiğinde 1949 da Dr. Keidel'in Erlangen'de kalbin ritmik hacim değişimlerinin kaydı için ultrasonik metod kullandığı öğrenildi. Fakat o, yansıyan ultrasonik dalga yerine göğüse sürekli ultrasonik dalga göndermişti. Alınan ultrasonik dalgadaki şiddet değişimlerine, kalbin pozisyon ve büyüklük değişimlerinin sebebiyet vermesi şeklinde yorumlamıştı. Maalesef Keidel, kalp hacmini nicel olarak kaydetmek için bu metodu kullanmada başarısını sürdürmedi. Orijinal makaleden farklı olarak daha ileri seviyede bir bilgi ortaya çıkmadı. 1956 ve 1957 de

Hertz, Almanyada, Siemens şirketinin tıp dalında bilim danışmanı olarak çalışırken Düsseldorf, Hamburg ve Würzburg şehirlerindeki medikal bölümlere ekokardiyografiyi takdim etti. Bu üç merkezdeki doktorlar Lung'a sonuçların klinik değerlendirilmesi ve tekniğin kavranması için gönderildi. Daha sonra Hertz, Böhme ile birlikte

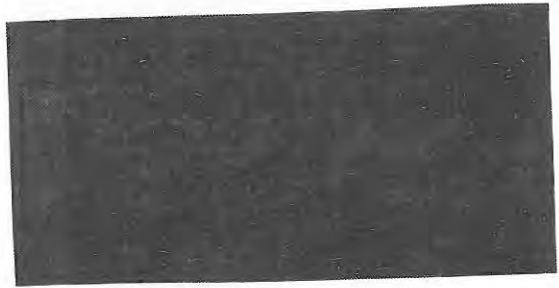
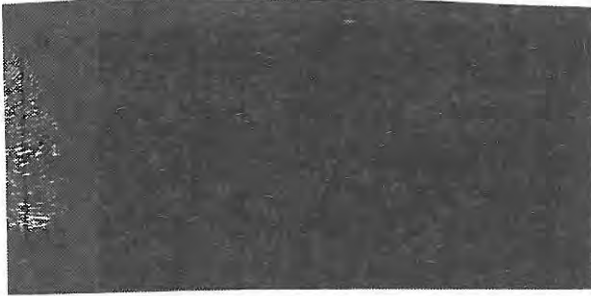
doğrudan kayıt yapabilen mürekepli ekokardiyografi için bir metod geliştirdi. Bu teknik kullanılarak, Ekokardiyogram, Elektrokardiyogram ve kalp sesleri gibi diğer parametrelerle birlikte kaydedildi. Maalesef bu kayıt tekniği yalnız bir eko sinyalinin kaydına izin verdi. Buna rağmen bu metod klinik rutinde yıllarca kullanıldı (6,9).



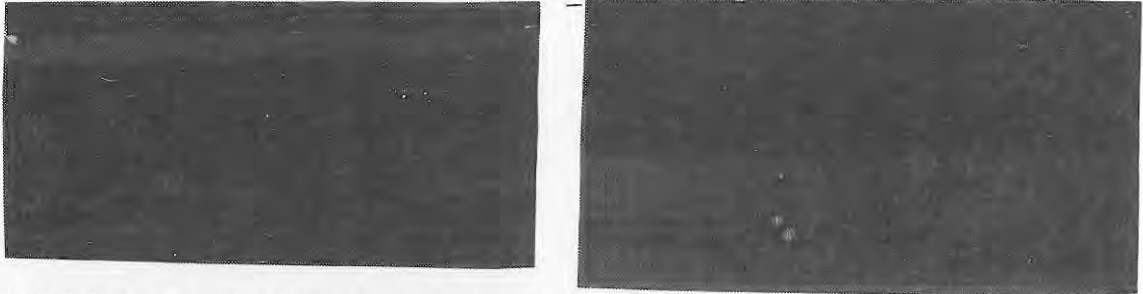
**Şekil 1.** Helmuth Hertz (solda) ve Inge Edler (sağda) 1953-1965 arasında kullanılan Siemeens akış dedektörü ile birlikte. Sonradan bu cihaz M-Mod olarak modifiye edilmiştir.



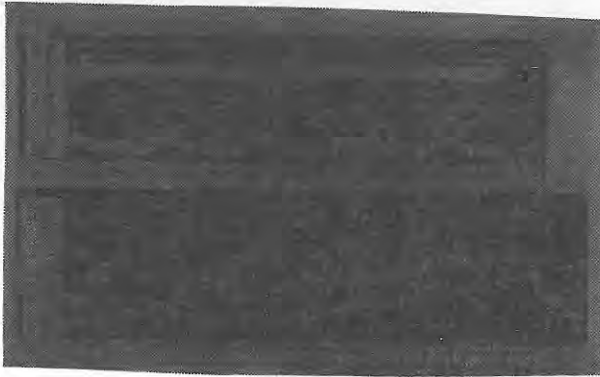
**Şekil 2.** 1953 de Edler ve Hertz ultrasoundla ilk hastayı araştırdıklarında osiloskop ekranının fotoğrafı. (Sol); Üst göğüs duvarından ekolar, (Sağ); Üst göğüs duvarından 8-10cm mesafedeki yapıdan alınan eko sinyali (Edler 1976).



**Şekil 3.** 1953 de ilk çekilen Ekokardiyogram. (Sol); E1; üst göğüs duvarından alınan eko, E2; probtan 10cm derinlikte sol ventrikül arka duvarından alınan eko.(Sağ); Büyük bir ölçükle sol ventrikül arka duvarından kaydedilen sinyal (Edler 1976).



Şekil 4. Kalbinde aort kaçağı olan bir hastadan alınan iki ekokardiogram. Sol ventrikülün arka duvarından alınan ekosinyali probtan yaklaşık 14cm dir..Diğer eko 16cm derinlikte arka perikardiumu temsil etmektedir.



Şekil 5. 1953 de normal bir kalbe sahip kişiden kaydedilen ekokardiogram. Arka duvar 9-10cm derinliktedir.

#### Kalbin iki boyutlu gerçek zaman görüntülenmesi

1959 larda çoklu dönüştürücüler kullanılarak, kalbin iki boyutlu görüntüsü gerçekleştirilmeye uğraşıldı. Bu sistemde ayrı gönderme ve alma dönüştürücüleri birlikte kullanılıyordu. Fakat sistemin ataleti çerçeve oranını sınırladı. 1967'de Asberg saniyede 6-7 çerçeve üretmeyi başardı. Sonra Hertz ve Lindström dönen bir ayna sistemi kullanarak 16 çerçeve/sn. yi görmeyi başardı. Bu aslında ilk gerçek zaman kardiyak ultrasonik tarayıcı ve önemli klinik sistemlerin geliştirilmesinde ilk adımdır (10).

1977' de Hellmuth Hertz ve Edler Albert Lasker Klinik tıp araştırma ödülünü aldılar. Daha sonra 1983' de Rotterdam'ın Erasmus üniversitesinden Echocardiologi ödülü aldılar ve 1988' de, Tıbbi ultrasonun tarihi sempozyumunda Öncüler ödülünü aldılar (3,9,11).

#### KAYNAKLAR

1. White DN: Johann Christian Doppler and his effect-A brief history. *Ultrasound Med. Biol.* 8:583-591, 1982.
2. Hertz CH: The early technical development of echocardiography in Lund. Invited lecture. *Echocard. symposium, Indianapolis, IN, 25-28, 1988.*
3. Evans DH, McDicken WN, Skidmore R : *Doppler Ultrasound. physics, instrumentation and clinical application, John Wiley, Chichester, 1989 pp 123-125.*
4. Asberg A: *Ultrasonic cinematography of the living heart. Ultrasonics. 5:113-115, 1987.*
5. Hertz CH: *The interaction of physicians, physicists and industry in the development of echocard. Ultrasound Med. Biol. 3:11-13, 1973.*
6. Edler I: *Early Echocard. Ultrasound in Med. and Biol. 17:425-431, 1991.*
7. Adhar GC, Abbasi AS, Nanda NC: *Doppler echocardiography in the assesment of mitral regurgitation and mitral valve prolapse. Doppler echocardiography 5:188-210, 1985.*

8. Hatle L, Angelsen B: *Doppler ultrasound in cardiology. physical and clinical applications, 2nd edn, Lea and Febiger, Philadelphia, 1982 pp 81-85.*
9. Franklin DL, Schlegel W, Rushmer RF: *Blood flow measured by Doppler frequency shift of back scattered ultrasound. Science 134:564-565, 1961.*
10. Hertz CH, Lindström K: *A fast ultrasonic scanning system for heart investigation. (3th Int. Conf. on Medical Physics), Gothenburg 1972 pp 23-27.*
11. Franklin DL, Schlegel W, Rushmer RF : *Blood flow measured by Doppler frequency shift of back-scattered ultrasound. Science, 134:564-565, 1961.*