T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
NÜKLEER TIP ANABİLİM DALI

SOL VENTRİKÜL VOLÜMLERİ VE EJEKSİYON FRAKSİYONUNUN QGS, 4D-MSPECT VE ECTb ALGORİTMALARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Aslı YILDIZ

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Ali ŞAHİN

UZMANLIK TEZİ

ERZURUM - 2011

İÇİNDEKİLER

ONAY ..... **III**
TEŞEKKÜR ..... **IV**
ÖZET ..... **V**
ABSTRACT ..... **VI**
1. GİRİŞ ve AMAÇ **1**
2. GENEL BİLGİLER **3**
2.1. Kalbin Anatomisi 3
2.1.1. Kalbin Boşlukları 3
2.1.1.1. Sağ Atrium 3
2.1.1.2. Sağ Ventrikül 3
2.1.1.3. Sol Atrium 4
2.1.1.4. Sol Ventrikül 4
2.2. Koroner Arteriyel Sistem 4
2.2.1. Sol Koroner Arter 4
2.2.1.1. Sol Ön İnen Arter 4
2.2.1.2. Sol Sirkumfleks Arter 6
2.2.2. Sağ Koroner Arter 6
2.3. Koroner Venöz Sistem 6
2.4. Kardiyovasküler Sistem Fizyolojisi 6
2.4.1 Ventrikül Fonksiyonunu Belirleyen Faktörler 7
2.4.1.1. Ön Yük 7
2.4.1.2. Ard Yük 7
2.4.1.3. Kontraktilite 8
2.4.1.4. Kalp Hızı 8
2.5. Normal ve Anormal Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi 8
2.5.1. Sistol ve Diyasyol Sonu Ventrikül Volümleri 9
2.5.2. Kardiyak Output 9
2.5.3. Ejeksiyon Fraksiyonu 9
2.6. Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler 10
2.6.1. Sol Ventrikülografi 10

2.6.2 Ekokardiyografi 11
2.6.3 Bilgisayarlı Tomografi 14
2.6.4 Manyetik Rezonans Görüntüleme 15
2.7. Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Nükleer Tıp Yöntemleri 15
2.7.1. İlk Geçiş Radyonüklid Anjiografi (First Pass RNA) 16
2.7.2. Multipl Gated Anjiosintigrafi (MUGA) 17
2.7.3. Miyokard Perfüzyon Sintigrafisi (MPS) 17
2.7.3.1. Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinde Kullanılan Radyofarmasötikler 18
2.7.3.2. Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinde Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri 20
2.7.3.3. Kardiyak Stres Yöntemleri 22
2.7.3.4. Miyokard Perfüzyon Sintigrafisi Görüntüleme Protokolleri 26
2.7.3.5. Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinde Görüntü Elde Edilmesi 27
2.7.3.6. Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinin Değerlendirilmesi 28
2.7.3.6.1. SPECT Görüntülerinin Kalite Kontrolü 28
2.7.3.6.2. Gated SPECT Görüntülerinin Kalite Kontrolü 30
2.7.3.6.3. Gated SPECT Çalışmasının Rekonstrüksiyonu 30
2.7.3.6.4. Görüntülerin Genel Değerlendirmesi 31
2.7.3.6.5. Miyokard Perfüzyonunun Değerlendirilmesi 32
2.7.3.6.6. Sol Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi 35
3. GEREÇ ve YÖNTEM 40
3.1. Hasta Grubu 40
3.2. Ekokardiyografi 40
3.3. Miyokard Perfüzyon Gated SPECT 40
3.4. Verilerin Analizi 41
3.5. İstatistiksel Yöntem 42
4. BULGULAR 43
5. TARTIŞMA 60
SONUÇ 67
KAYNAKLAR 68

ONAY

“Sol ventrikül volümleri ve ejeksiyon fraksiyonunun QGS, 4D-MSPECT ve ECTb algoritmaları ile değerlendirilmesi” isimli çalışmamızın Nükleer Tıp Anabilim Dalı Başkanlığının 08.05.2009 tarih ve 111 sayılı yazısı, Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu’nun 15.05.2009 tarih ve 168 sayılı kararı ile ve Dahili Tıp Bilimleri Bölüm Kurulu’nun 26.01.2011 tarihi 1 no’lu oturum 1 protokol sayısı ile tez olarak çalışılması uygun görülmüş ve çalışmamıza onay verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Nükleer Tıp uzmanlık eğitimime bilgi ve deneyimleri ile önemli katkısı olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Erhan VAROĞLU'na ve Sayın Doç. Dr. Bedri SEVEN'e, eğitimimim ve tez çalışmamın tamamlanmasında büyük emekleri olan hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Şahin'e, asistanlık eğitimim süresince bilgi ve desteklerini benden esirgemeyen hocalarım Sayın Yrd. Doç Dr. Ebru ÖRSAL ve Yrd. Doç. Dr. Arif Kürşad AYAN'a,

Tez çalışmamda emeği geçen Sayın Doç. Dr. Şakir ASLAN'a ve birlikte çalıştığım asistan arkadaşlarıma, kimya mühendisi arkadaşlarıma, hemşirele arkadaşlarıma, teknisyen arkadaşlarıma ve personelimize,

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem, babam ve ablama,

Çalışmalarımda bana olan güven ve desteğini hep hissettiğim sevgili eşime,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Aslı YILDIZ

ÖZET

Koroner arter hastalığı (KAH), kalbe oksijen ve kan sağlayan koroner arterlerin daralmasıdır. KAH dünya çapında ölümlerin önde gelen nedenidir. Günümüzde birçok hastaya KAH'ın araştırılması amacıyla gated miyokardiyal perfüzyon SPECT (gated SPECT) çalışması yapılmaktadır. Gated SPECT görüntüleme miyokardiyal perfüzyonun ve sol ventrikü ejeksiyon fraksiyonu (SVEF), end-sistolik volüm (ESV) ve end-diyastolik volüm (EDV) gibi sol ventrikülün fonksiyonel parametrelerinin aynı anda değerlendirilmesine izin vermektedir. Özellikle SVEF, KAH ve kardiyak ölümü öngörmede güçlü ve bağımsız bir belirleyicidir.

Klinik uygulamada sol ventrikül fonksiyonlarının hesaplanması için birçok gated SPECT yazılımı bulunmaktadır. Quantitative Gated SPECT (QGS, Cedars- Sinai Medical Center), 4D-MSPECT (University of Michigan Medical Center) and Emory Cardiac Toolbox (ECTb, Emory University) ticari olarak ulaşılabilen yazılımlardan en önemlileridir. SVEF'nun kesin olarak hesaplanabilmesi bunların arasındaki bağlantıların ve karşılaştırmaların açıklanmasına dayanmaktadır.

Aralarında en fazla 90 gün olcak şekilde gated SPECT ve ekokardiyografisi çekilmiş olan toplam 89 hasta (43 kadın, 46 erkek; ortalama yaş± SD, 51 ± 11 yıl) retrospektif olarak incelendi. Hastalar iki gruba ayrıldı. Grup 1 perfüzyon defekti olmayan 60 hastayı içeriyordu. Grup 2 perfüzyon defekti olan 29 hastayı kapsamaktaydı. Tüm hastalara tek gün protokolü ile Tc-99m MIBI gated SPECT görüntüleme yapılmıştı. SPECT görüntüleri sağ anterior oblikten sol posterior obliğe doğru elde edildi. Gated SPECT ham görüntüleri filtrelenmiş geri projeksiyon yöntemi ile rekonstrükte edildi. Veri rekonstrüksiyonundan sonra, fonksiyonel parametreler üç ayrı yazılım programı ile hesaplandı.

Her ne kadar QGS diğer iki yazılım programından hafifçe daha düşük değerler gösterse de, gated SPECT yazılım programları ile elde edilen ortalama SVEF değerleri ekokardiyografi ile ve kendi aralarında iyi korelasyon göstermekteydi. Ancak T testi sonuçları üç program ile hesaplanan EDV ve ESV değerleri arasında anlamlı farklılık olduğunu ortaya koydu. Ayrıca grup 1 ve grup 2 arasında SVEF değerleri bakımından anlamlı farklılık vardı.

Sonuç olarak, her üç yazılım programının da klinik uygulamada SVEF değerlerinin hesaplanması bakımından yararlıdır. Ancak programların hastaların tedavisi ve takibinde birbiri yerine kullanılması önerilmemektedir. Bunun yanında her klinik her program için kendi normal popülasyon limitlerini belirlemelidir.

Anahtar kelimeler: Gated miyokardiyal perfüzyon SPECT, Tc-99m MIBI, sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu, sol ventrikül volümleri.

ABSTRACT

Coronary artery diease (CAD) is a narrowing of the coronary arteries that supply oxygen and blood to the heart. CAD is the leading cause of death worldwide. Today many patients undergo gated myocardial perfusion SPECT imaging for the evaluation of CAD. Gated SPECT imaging is allowed the simultaneous assessment of myocardial perfusion and left ventricular functional parameters such as left ventricular ejection fraction (LVEF), end-systolic volume (ESV) and end-diastolic volume (EDV). Especially LVEF is a powerful and independent predictor for CAD and cardiac death.

There are many softwares of gated SPECT in clinical practice for quantification of left ventricular function. Quantitative Gated SPECT (QGS, Cedars- Sinai Medical Center), 4D-MSPECT (University of Michigan Medical Center) and Emory Cardiac Toolbox (ECTb, Emory University) are the most important softwares that commercially available. Calculating an accurate LVEF depends on to determine their relations and comparisons.

A total of 89 patients (43 females, 46 males; mean age ± SD, 51 ± 11 y) on whom both gated SPECT and echocardiography were performed within 90 days of each other were analyzed retrospectively. The patients were classified into 2 groups. Group 1 included 60 patients who have no perfusion defect. Group 2 comprised 29 patients with perfusion defect. All patients enderwent Tc-99m MIBI gated SPECT imaging in a one-day protocol. The SPECT acquisition has perform from right anterior oblique to the left posterior oblique. Gated SPECT raw data were reconstructed by filtered back-projection algorithm. After data reconstruction, the functional parameters were calculated with three different software programs.

Although QGS showed slightly lower values than other two software programs, the mean LVEF calculated by gated SPECT software programs were correlated well with echocardiography and among themselves. However T test results showed a considerable variation among the three programs in the calculation of EDV and ESV values. There was also significant difference between group 1 and 2 for LVEF values.

As a result, all three software programs are useful in clinical practice for calculating LVEF. But using the programs interchangeable to manage patient’s therapy or follow-up is not recommended. Furthermore each clinic should get their normal population limits for each algorithm.

Key words: gated myocardial perfusion SPECT, Tc-99m MIBI, left ventricular ejection fraction, left ventricular volumes.

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Koroner arter hastalığı (KAH) gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde en sık ölüm nedenidir (1). KAH etyolojisinde en önemli neden koroner arterlerde oluşan ateroskleroti̇k plaklar sonucu gelişen stenozdur. Ateroskleroz miyokardın oksijen ihtiyacının karşılanamamasına ve sonuçta sol ventrikülün sistolik ve diyastolik fonksiyonlarında bozulmaya neden olur. KAH'da yıllık mortalitenin sol ventrikül fonksiyonu bozulmuş hastalarda, ventrikül fonksiyonu korunmuş olan hastalara oranla daha yüksek olduğu bilinmektedir (2,3). Sol ventrikül fonksiyonunun değerlendirilmesinde sol ventrikül volümleri ve bölgesel duvar hareketleri en sık kullanılan parametrelerdir.

Kardiyak fonksiyonel parametrelerin değerlendirilmesinde altın standart yöntem olarak kabul edilen koroner anjiografinin invaziv bir yöntem oluşu, yöntemin hastaların rutin takibinden çok ilk tanıda ya da girişimsel tedavilerin gerekli olduğu durumlarda kullanımını uygun kılar. Takipte daha çok non-invaziv, kolay ulaşılabilir ve tekrar edilebilir yöntemler tercih edilmektedir.

Sol ventrikül volümleri ve duvar hareketlerinin incelenebildiği non-invaziv yöntemler içinde ekokardiyografi, kardiyak çok kesitli bilgisayarlı tomografi (ÇKBT), kardiyak manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve nükleer kardiyolojik yöntemler sayılabilir.

Nükleer kardiyolojik yöntemler, KAH tanısında 1970'lerin başlarından beri kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde günümüzde en sık gated miyokard perfüzyon tek foton emisyon bilgisayarlı tomografisi (gated SPECT) kullanılmaktadır. Gated SPECT özellikle KAH tanısında ve prognozun değerlendirilmesinde, miyokard enfarktüsü geçirmiş hastalarda risk belirlemesinde, revaskülarizasyon sonrası tedaviye yanıtın değerlendirilmesinde, enfarktüs sonrası miyokard viabilitesinin değerlendirilmesinde tercih edilmektedir. Çünkü gated SPECT görüntülemede görsel olarak ventrikül perfüzyonu değerlendirilebilmekte, zaman-hacim eğrisi elde edilerek sistol ve diyastol sonu volümleri hesaplanabilmekte ve görüntülerin sinematografik incelemesi ile görsel olarak bölgesel duvar hareketleri değerlendirilebilmektedir (4-6).

Ancak yalnızca görsel olarak değerlendirilen bir gated SPECT çalışması, çalışmayı değerlendiren klinisyenler arasında önemli yorum farklılıklarına neden

olabilir. Bu nedenle perfüzyonun standardize bir sol ventrikül segmentasyonu ve skorlama sistemi ile incelenmesi; aynı şekilde fonksiyonun da otomatik olarak hesaplanan sol ventrikül volümlerine göre değerlendirilmesi, gated SPECT'in hem tekrarlanabilirliğini hem de sensitivitesini arttırır (7). Kantitatif değerlendirmede ticari olarak ulaşılabilen birçok farklı program mevcuttur. QGS (Quantitative Gated SPECT, Cedars- Sinai Medical Center), ECTb (Emory Cardiac Tool Box, Emory University), 4D-MSPECT (University Of Michigan Medical Center) bu algoritmalardan yaygın olarak kullanılanlarıdır (8-10).

Literatürde bu programların kendi aralarında ya da altın standart olarak kabul edilen yöntemler karşılaştırılması ile yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada, Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı'nda KAH varlığı ya da şüphesi ile 2006–2009 yılları arasında gated SPECT ile değerlendirilmiş olan hastaların sol ventrikül fonksiyonel parametrelerinin üç farklı algoritma (QGS, 4D-MSPECT, ECTb) ile hesaplanarak elde edilen sonuçlar birbirleri ile, ayrıca sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu (SVEF) değerleri klinikte SVEF hesaplamasında en yaygın yöntem olarak kullanılan transtorasik 2D ekokardiyografi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Böylece hem programların kendi aralarındaki veri korelasyonunun hem de bu verilerden SVEF değerinin rutin klinik uygulamadaki yerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kalbin Anatomisi

Kalp göğüs boşluğunda, orta mediastende yer alan, koni şeklinde müsküler bir organdır. Dış yüzeyi çift katlı bir zar olan perikard ile çevrili olan kalp, önde sternum, sağda ve solda akciğerlerin mediastinal yüzleri, altta diafragma ve arkada özofagus ile komşuluk içindedir. Kalbin apeksi öne, aşağı ve sola uzanmış pozisyondadır. Silüeti midkalvikuler hatta 5. interkostal aralığa denk gelir. Kalbin büyük damarlar ile bağlantılarının sağlandığı bölümü olan tabanı ise yukarıya, arkaya ve sağa doğru uzanmış pozisyondadır (11).

Boyutları ve ağırlığı kişiden kişiye değişkenlik gösterse de, ağırlığı erişkin bir erkekte ortalama 300-350 gr. ve erişkin bir kadında ortalama 250-300 gr.'dır. Erişkinde ortalama genişliği 8-9 cm, uzunluğu 12 cm ve kalınlığı 6 cm'dir.

2.1.1. Kalbin Boşlukları

Kalp iki atrium ve iki ventrikülden oluşur. Bazal kesiminden apekse uzanan bir septa ile sağ ve solda, atrium ve ventriküllere ayrılır.

2.1.1.1. Sağ Atrium

Venöz kanın tüm vücuttan toplanarak vena kava süperior ve inferior aracılığı ile kalbe ulaştığı boşluktur. Vena kava süperior sağ atriumun üst kısmına, vena kava inferior ise alt kısmına açılır. Kanın sağ atriumdan sağ ventriküle tek yönlü geçişini, sağ atrioventriküler boşluğu oluşturan triküspit kapak sağlar. Sağ atriumun kalınlığı yaklaşık olarak 2 mm ve diyastol sonu hacmi 57 ml'dir.

2.1.1.2. Sağ Ventrikül

Kalbin anteriorunda yerleşim gösterir. Sağ atriumdan sağ atrioventriküler boşluk aracılığı ile içine dolan venöz kanı turunkus pulmonalis yoluyla akciğerlere gönderen kalp boşluğudur. Sağ atrioventriküler boşluğu meydana getiren triküspit kapak üç yapraktan oluşur. Triküspit kapağın yaprakları korda tendinealar ile papiller kaslara bağlanır. Sağ ventrikül kontraksiyonu ile kan pulmoner açıklıktan geçerek akciğerlere gönderilir. Pulmoner açıklıkta üç semilunar kapakçıktan oluşan pulmoner kapak bulunur.

Sağ ventrikül boşluğu yarımay şeklinde olup duvar kalınlığı ortalama olarak 5 mm ve diyastol sonu hacmi 165 ml'dir.

2.1.1.3. Sol Atrium

Kalbin posteriorunda yer alan ve akciğerlerden pulmoner venler aracılığıyla gelen kanın kalbe ulaştığı boşluktur. Sol ventrikül ile sol atrioventriküler boşluk aracılığıyla ayrılır. Sol atrioventriküler boşluk iki kapakçığı bulunan mitral kapak tarafından oluşturulur. Duvar kalınlığı yaklaşık olarak 3 mm ve diyastol sonu hacmi 50 ml'dir.

2.1.1.4. Sol Ventrikül

Sol atriumdan mitral kapaktan geçerek içine dolan kanı aort yoluyla tüm vücuda pompalayan kalp boşluğudur. Aorttan çıkışı sağlanan kanın geri dönüşü aortik pencerede bulunan üç kapakçıklı aortik kapak ile önlenir.

Sol ventrikül boşluğu elipsoid şekildedir. Duvar kalınlığı yaklaşık 6-11 mm olup diyastol sonu hacmi 150 ml'dir.

2.2. Koroner Arteriyel Sistem

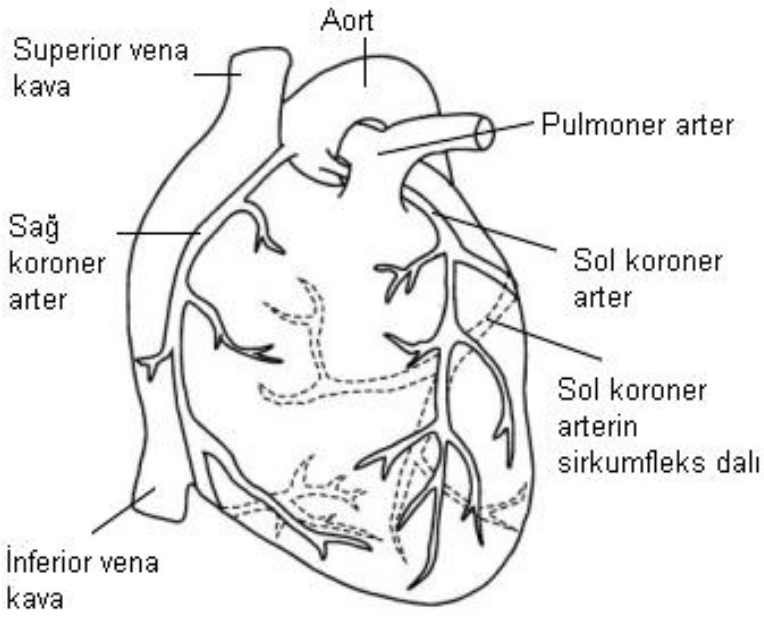
Miyokardın oksijen ihtiyacı kalbi besleyen ayrı bir arteriyel sistem aracılığı ile karşılanır. Bu sistem aortun başlangıcında yer alan sağ ve sol koroner sinüslerden gelişir. Koroner arter sistemi sağ ve sol koroner arterlerden oluşur (Şekil 2.1). Ayrıca insanların %50'sinde doğrudan sağ sinüsten köken alan üçüncü bir arter (conus arteri) bulunabilir.

2.2.1. Sol Koroner Arter

Sol koroner sinüsten köken alan sol koroner arter, sol pulmoner arter ve sol atrial apendiks arasında 1-2 cm seyrettikten sonra iki ana dalı olan sol ön inen arter (SÖİA) ve sol sirkumfleks artere (SSA) ayrılır.

2.2.1.1. Sol Ön İnen Arter

Sol koroner arterin devamı şeklinde olan SÖİA, anterior interventriküler sulkusta seyrederek çoğunlukla apekse doğru ilerler. Majör dalları perforatör ve diagonal dallarıdır (Tablo 2.1.).



Şekil 2.1. Kalbin koroner arteriyel sistemi

SÖİA perforan dallarını, interventriküler septumun ön 2/3'lük kısmını beslemek üzere anterior interventriküler sulkustaki seyri sırasında verir. SÖİA'nın diagonal dalları, sol sirkumfleks arter ile yaptığı açı arasında kalan ve sol ventrikülün anterior ve lateral duvarını besleyen dallarıdır.

SÖİA Dalları
Birinci diagonal
Birinci septal perforatörler
Sağ ventriküler (her zaman izlenmeyebilir)
Diğer septal perforatörler
Diğer diagonal dallar

Tablo 2.1. SÖİA Dalları

2.2.1.2. Sol Sirkumfleks Arter

Sol atrioventriküler sulkusta seyrederek sola ve posteriora doğru devam eder. Seyri sırasında sol ventrikülün lateral ve inferolateral duvarını besleyen marjinal dallarını verir. Ayrıca insanların %40-50'sinde sinüs düğümü arteri sol sirkumfleks arterden köken alır.

2.2.2. Sağ Koroner Arter

Sağ koroner sinüsten köken alan sağ koroner arter sağ atrioventriküler sulkustan aşağı doğru seyreder. İlk olarak akut marjinal dal ve sağ ventrikül dalını verir. Bu dalları sağ ventrikülün inferior ve inferoseptal duvarını besler. Ayrıca insanların %50'sinde sinüs nodu arteri ile sinüs düğümünü ve %90'ında atrioventriküler nod arteri ile atrioventriküler nodu sağ koroner arter besler.

Sağ koroner arter çoğu zaman kalbin diafragmatik yüzeyinden aşağı doğru inerek kruks'a ulaşır. Burada terminal dalları olan posterior inen arter ve posterior sol ventriküler dalına ayrılır.

Kalbin dominant koroner dolaşımı posterior inen artere göre belirtilir. Posterior inen arter sağ koroner arterin dalı ise "sağ dominant dolaşım", sol koroner arterin dalı ise "sol dominant dolaşım" olarak adlandırılır.

2.3. Koroner Venöz Sistem

Kalbin venöz dönüşünün büyük kısmı koroner sinüs adı verilen yapı ile sağlanır. Koroner venler, arterler ile birlikte seyrederek koroner sinüse açılır ve koroner sinüs doğrudan sağ atriuma drene olur.

Anterior sağ ventriküler venler ve Thebesian venleri kalbin venöz dolaşımına katkıda bulunan diğer venöz yapılardır.

2.4. Kardiyovasküler Sistem Fizyolojisi

Kardiyovasküler sistem, kalp, arter ve venlerden oluşan bir sistemdir. Metabolik ihtiyaçların karşılanması için dokulara gerekli oksijen ve besin maddelerinin taşınması ile görevlidir.

Kan dolaşımı sistemik ve pulmoner dolaşım olarak ikiye ayrılır. Kalbin diastolü sırasında superior ve inferior vena kava aracılığı ile tüm vücuttan toplanan kan sağ atriuma ulaşırken, akciğerlerde oksijenize olan kan da pulmoner ven aracılığı ile sol atriuma iletilir. Her iki atriuma dolan kan, mitral ve triküspit kapaklar yoluyla ventriküllere geçer.

Kalbin sistol periyodu sinoatrial düğümden otonom uyarının çıkışı ile başlar. Bu uyarı atriumlar üzerinden atrioventriküler noda ulaşır ve ardından His demeti ve Purkinje liflerine iletilir. Miyokardın bu elektriksel uyarıya verdiği yanıt kontraksiyondur (12).

Sağ ventrikülün kasılması sonucu kan pulmoner arter yoluyla akciğerlere pompalanırken, sol ventrikülün kasılması ile kan aort aracılığıyla sistemik dolaşıma iletilir. Ventriküllerin kontraksiyonu sırasında kanın atriumlara geri kaçışı mitral ve triküspit kapaklar tarafından önlenir.

2.4.1 Ventrikül Fonksiyonunu Belirleyen Faktörler

Ventrikül fonksiyonunu belirleyen dört temel faktör vardır. Bunlar: ön yük, ard yük, kontraktilite ve kalp hızıdır.

2.4.1.1 Ön Yük

Ön yük, miyokardın diastol sonundaki gerilim derecesidir ve diyastol sonu basınç ile doğru orantılıdır. Ön yükün ventrikül fonksiyonuna etkisi Frank-Starling yasası ile açıklanır. Bu yasaya göre miyokard ne kadar fazla gerilirse o kadar güçlü kasılacaktır. Yani periferden kalbe ulaşan kan ne kadar fazla miktarda olursa, kalp o kadar güçlü kasılarak bu kanı arteriyel dolaşıma pompalar.

2.4.1.2 Ard Yük

Ard yük, kalbin sistolde kontraksiyonu sırasında karşı karşıya kaldığı basıncı tanımlar. Klinikte arteriel kan basıncı ve ard yük birbirinin yerine kullanılabilen kavramlardır.

Fonksiyonları normal bir kalpte, fizyolojik sınırlardaki akut yüklenmeler tolere edilebilir. Ancak arteriel basıncın kronik olarak yükseldiği durumda (örn. hipertansiyon) miyokard bu ard yükü yenmek için hipertrofiye uğrar.

Frank-Starling yasasına göre artmış ventrikül volümü artmış kontraktiliteye; bu da sistolik kan basıncının ve dolayısıyla ard yükün artmasına neden olur (12).

2.4.1.3 Kontraktilite

Kontraktilite miyokardın fonksiyonunu ön yük ve ard yük değişikliklerinden bağımsız olarak etkileyen faktördür. Kontraktilite bazı kaynaklarda inotropik durum olarak da adlandırılır. Egzersiz, inotropik ajanlar ve sempatik uyarı gibi faktörlerle artan kontraktilite miyokardın oksijen ihtiyacını ve kalp hızını da arttıracaktır.

Ayrıca artmış kontraktilite daima artmış relaksasyon oranına neden olur. Bu durum lusitropik efekt olarak adlandırılır.

2.4.1.4 Kalp Hızı

Kalp hızındaki artış, miyokard kontraktilitesinin ve dolaylı olarak relaksasyonunun da artmasına neden olur. Bu frekans-güç ilişkisi Bowditch fenomeni olarak adlandırılır. Ancak uyarılma çok hızlı olursa sodyum ve kalsiyumun hücreye girişi çok fazla miktarda olacağından kontraktilitede artış görülmez. Yani kalp hızı ile kalbin debisi arasındaki ilişki eksponansiyel değil paraboliktir.

2.5 Normal ve Anormal Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi

Kalp hastalıklarının tanısında ve prognozun öngörülmesinde kardiyak fonksiyonun değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Kardiyak fonksiyonun değerlendirilmesinde ventrikülün sistolik ve diastolik fonksiyonlarının araştırması yapılır. Ventrikülün bu genel değerlendirmesi dışında bölgesel fonksiyon değerlendirmesi de (örn: ventrikül duvar hareketleri) özellikle bazı hastalıkların tanısı için kritik önemdedir. Kardiyak fonksiyonun kantitatif değerlendirmesinde ventrikülün basınç ve hacim değerleri ile bunlardan elde edilen bazı indeksler kullanılır. Bu parametrelerden bazıları şunlardır:

- Sistol ve diyastol sonu ventrikül volümleri
- Kardiyak output
- Ejeksiyon fraksiyonu (EF)

2.5.1 Sistol ve Diyastol Sonu Ventrikül Volümleri

Kalbin kontraksiyonundan hemen önce sahip olduğu kan volümü diyastol sonu volüm ya da end diyastolik volüm (EDV) olarak tanımlanır ve normal bir insanda değeri ortalama olarak 70 ml/m^2'dir. Diyastol sonunda EDV'nin ventrikülde oluşturduğu basınç, sol atrium basıncına eşittir. Dolayısıyla klinikte EDV ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesinde ön yükün doğrudan göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Ventrikülün kontraksiyonunu bitirdiği andaki volümü sistol sonu volüm ya da end sistolik volüm (ESV) olarak adlandırılır. Normal kişilerde ortalama değeri 30 ml/m^2'dir. ESV, ard yükün normal olduğu durumda kalbin kontraksiyon gücünü gösterir.

2.5.2 Kardiyak Output

Kardiyak output, kalbin bir dakikadaki atım hacmi olarak tanımlanır ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

Kardiyak Output = Stroke Volüm x Kalp Hızı

Formülde de görüldüğü gibi kardiyak output, ön yük, ard yük, kontraktilite, kalp hızı gibi birçok değişkene bağımlıdır. Bu nedenle kardiyak fonksiyon değerlendirmesinde rolü sınırlıdır.

Kardiyak output termodilüsyon ya da Fick yöntemi ile hesaplanabilir. Genellikle vücut büyüklüğüne göre düzeltilmiş değeri olan kardiyak indeks kullanılır. Kardiyak indeksin normal değeri 2.5-4.2 lt/dk/m^2'dir.

2.5.3 Ejeksiyon Fraksiyonu

Ventrikülün sistolik fonksiyonu her bir ventrikülün, her atımında pompaladığı kan miktarı olan stroke volüm ile değerlendirilebilir. Stroke volüm, kardiyak output'un kalp hızına bölünmesi ile ya da end diyastolik volüm ile end sistolik volüm arasındaki fark alınarak hesaplanabilir ve normal değeri sağlıklı erişkinde ortalama olarak 70 ml'dir.

Ancak stroke volümün EDV'ye oranlanması ile elde edilen bir değer olan ejeksiyon fraksiyonu (EF) kalbin her atımındaki fonksiyonel boşalmasını gösterir ve ard

yükte ki değişimlere daha duyarlıdır. Bu nedenle sistolik fonksiyonun kantitatif değerlendirilmesinde çoğunlukla EF değeri kullanılır.

EF, sağlıklı erişkinde ortalama olarak % 50-70'dir. Bu değer cinsiyetler arası değişim göstermez ancak yaşla birlikte azalma görülür. Ayrıca yüklenme bulguları (ard yükteki ani artış gibi) ve miyokardiyal kontraktilitenin bozulmuş olması EF'de düşüşe neden olabilir. Eğer bir hastada soldan sağa şant, kapak hastalığı (mitral ya da aortik regürjitasyon) ya da ard yükte anormal düşüş yoksa, %50'nin üzerindeki bir EF değeri normal ventriküler sistolik fonksiyonu gösterir. Birçok çalışmada %40'ın altındaki EF değerlerinin kalp yetmezliğinde gelişebilecek akut kardiyak olaylar ve ani ölümde prognostik değeri olduğunu göstermiştir (13,14).

2.6 Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler başlıca invaziv ve non-invaziv olarak iki ana gruba ayrılabilir:

- İnvaziv Yöntemler
  - Sol Ventrikülografi
- Non-invaziv Yöntemler
  - Ekokardiyografi
  - Bilgisayarlı tomografi (ÇKBT)
  - Manyetik rezonans görüntüleme (MRG)
  - Nükleer tıp yöntemleri

2.6.1 Sol Ventrikülografi

Sol ventrikülografi kardiyak kateterizasyon işleminin ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesini sağlayan önemli bir bölümünü oluşturur. Sol ventrikülografi ile ventrikül duvar hareketleri, ventrikül içi basınçlar ve kanın kapaklardan geçiş gradienti gibi parametreler değerlendirilebilir.

İşlem, arteriyel yol ile sol ventrikül kavitesine ucu kıvrımlı bir kateterin (pigtail) yerleştirilmesini takiben kontrast maddenin verilmesinin ardından 30^o sağ anterior oblik ve 45^o sol anterior oblik pozisyonlardan, ventrikülün sistol ve diastol sonu basınçlarının ölçülmesi biçiminde uygulanır. Ayrıca kateterin ventrikül içi pozisyonları değiştirilerek mitral regürjitasyon ve aort stenozu gibi patolojilerin araştırması da yapılabilir.

Ventrikülografi, daha önceki yıllarda kardiyak cerrahi planlanan, akut miyokard enfarktüsü geçirmiş hastalara rutin olarak uygulanan ve altın standart olarak kabul edilen bir yöntem iken, bugün hem kateterizasyonun olası komplikasyonları (ventrikül perforasyonu, miyokard enfarktüsü, kontrast reaksiyonu gibi), hem maliyetinin yüksek oluşu hem de non-invaziv yöntemlerin gelişmesi sonucu daha az uygulanır hale gelmiştir. Ancak yine de diğer non-invaziv yöntemler ile yeterli veri elde edilemeyecek (obez hastalarda ekokardiyografik görüntülemenin kısıtlı olması gibi) durumlarda tercih edilebilir bir seçenek olmaktadır.

2.6.2 Ekokardiyografi

Günümüzde ekokardiyografi, non-invaziv yol ile ventrikül fonksiyonlarına ilişkin kantitatif veriler sağlaması, herhangi bir komplikasyonunun olmaması, kolay ulaşılabilir olması ve maliyetinin düşük olması gibi birçok nedenle en sık kullanılan kardiyolojik tanı yöntemlerinden biridir. Ekokardiyografinin acil kardiyak durumların değerlendirilmesinden kalp yetmezliğinin takibine kadar oldukça geniş bir endikasyon aralığı vardır (14,15).

İki Boyutlu İnceleme

Kalbin yapılarının gerçek zamanlı ve iki boyutlu olarak görüntülendiği, elde edilen görüntülerin ardışık eklenmesiyle kalbin siklusunun sinematografik olarak izlenebildiği temel ekokardiyografi yöntemidir.

İnceleme kısa eksen, uzun eksen ve dört boşluk olmak üzere üç eksende yapılmaktadır. Probun parasternal alana yerleştirilerek kalbin tabanından apeksine doğru görüntülenmesi ile uzun eksen planı elde edilir. Kısa eksen planı, probun subkostal bölgeye yerleştirilerek kalbin uzun eksene dik olarak görüntülenmesidir. Dört boşluk görüntüleri, probun apikal bölgeye konularak her iki atriumun, her iki ventrikülün ve atrioventriküler kapakların izlenebildiği plandır. Uzun ve kısa eksen

daha çok aort kavsinin değerlendirilmesinde, dört boşluk ekseni ise ventriküllerin duvar kalınlığı ve çaplarının, atrium boyutlarının, ventriküler duvar hareketlerinin değerlendirilmesinde ve ejeksiyon fraksiyonunun hesaplanmasında kullanılır.

M-mod Yöntemi

Kalbin tek bir boyutundan uzunluk ve zaman kaydının alınması ile elde edilen görüntülerden oluşturulur. Günümüzde fazla tercih edilmeyen bir yöntemdir.

Doppler Yöntemi

İntrakardiyak kan akımının yönünü ve hızını belirlemede kullanılan ultrasonografi yöntemidir. Özellikle kapaklardaki darlıkların ve regürjitasyonların belirlenmesinde, şant akımlarının tespit edilmesinde ve basınç gradienti ölçümlerinde kullanılır.

Transözofajiyal İnceleme

Transtorasik yaklaşımın yetersiz kaldığı durumlarda, göğüs duvarı ve akciğer parankimi etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla probun özofagusa indirilmesi ile yapılan ultrasonografik incelemedir. Özellikle özofagusa komşuluk gösteren yapıların (sol atrium, mitral ve aort kapaklar, inen aort) daha detaylı incelenmesi bu yöntem ile olanaklı hale gelir.

Stres Ekokardiyografi

Miyokard enfarktüsü sonrası prognozun belirlenmesi ve viabilite araştırmasında kullanılan ekokardiyografi yöntemidir. Hastaya intravenöz infüzyon şeklinde dobutamin uygulamasını takiben duvar hareketleri ve miyokardiyal kontraktilitedeki değişimler değerlendirilir. Dobutamin ile oluşturulan farmakolojik stres ile canlı dokuların kontraksiyonunda artış görülürken nekrotik miyokard dokusunda bu değişim izlenmez.

Kontrast Ekokardiyografi

Doppler ekokardiyografinin yetersiz kaldığı küçük akımların belirlenmesinde kullanılır. Konvansiyonel iki boyutlu ekokardiyografide ses dalgaları eritrositlerde saçılıma uğradığı için kan siyah olarak izlenir. Ajite salin kullanılarak yapılan kontrast ekokardiyografide, oluşan hava kabarcıklarının yüksek ekojenitesinden faydalanılır.

Günümüzde kontrast ekokardiyografi daha çok sağdan sola şantın tespit edilmesinde başvurulan bir yöntemdir.

Üç Boyutlu İnceleme

Bu yöntemde iki boyutlu ekokardiyografi görüntülerinin rekonstrüksiyonu ile üç boyutlu görüntüler elde edilir. Özellikle SVEF ölçümlerinde radyonüklid ventrikülografi ile oldukça benzer sonuçlar verdiğini gösteren çalışmalar yapılmıştır (16,17).

İntrakardiyak Ekokardiyografi

İntrakardiyak alana ilerletilen bir kateter ile iki boyutlu ve doppler ekokardiyografik görüntülerin alınmasını sağlayan bir incelemedir. Bu yöntem ile ayrıca aksesuar ileti yollarının ablasyonu ve atrial septal defektlerin kapatılması gibi invaziv müdahaleler de yapılabilir.

Kalbin Ekokardiyografik Değerlendirmesinde Kullanılan Parametreler

Ekokardiyografi ile kalbin hem yapısal hem de hemodinamik özelliklerini, her patolojiye özgü kantitatif indeksler yoluyla değerlendirmek mümkün olmaktadır. Örneğin ventriküler duvar kalınlıkları hipertansiyona bağlı hipertrofinin belirlenmesinde, septum kalınlığı dilate kardiyomiyopatinin tanısında, ventrikül kitlesinin hesaplanması hipertrofik kardiyomiyopatinin takibinde kullanılır.

Ekokardiyografik incelemenin en sık endikasyonlarından biri kalbin sistolik fonksiyonunun değerlendirilmesinde en çok kullanılan indeks olan SVEF hesaplamasıdır. SVEF hesaplamasında kalbin sistol ve diyastol sonu volümleri ya da ventrikül çapları ölçülür. Bunun için M-mod yöntemi, görsel değerlendirme ya da iki boyutlu görüntülerden elde edilen kantitatif değerler kullanılabilir. Ekokardiyografinin SVEF hesaplamasındaki dezavantajı ölçümün klinisyene bağlı olması ve farklı klinisyenler tarafından yapılan ölçümlerin değişiklik (interobserver variability) gösterebilmesidir. Ancak günümüzde üç boyutlu ya da kontraslı ekokardiyografi gibi yöntemlerle bu değişkenliğin azaldığı gösterilmiştir (19).

2.6.3 Bilgisayarlı Tomografi

Önceki yıllarda kullanılan konvansiyonel bilgisayarlı tomografide, kalbin kontraksiyonuna bağlı hareket artefaktı, bilgisayarlı tomografinin kardiyak görüntülemede ki yerini kısıtlamaktaydı. Ancak son birkaç on yıl içinde görüntüleme işlem süresinin kısalması ve görüntü rezolüsyonunun artması sayesinde hem koroner arter hastalığının tanısında hem de ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesinde bilgisayarlı tomografi giderek artan sıklıkta kullanılır hale gelmiştir. Kardiyak görüntülemede elektron ışınlı bilgisayarlı tomografi (EIBT) ve çok kesitli bilgisayarlı tomografi (ÇKBT) olmak üzere iki tür bilgisayarlı tomografi tetkiki kullanılmaktadır.

EIBT'de x-ray tüpü konvansiyonel yöntemde olduğu gibi mekanik olarak değil elektronik olarak hareket ettirilebildiğinden görüntü elde etme süresi 0.025 sn kadar kısa olabilmektedir. EIBT'de elektrokardiyografi (EKG) ile senkronize edilerek akım ya da volüm görüntüleme yapılabilir. Sinematografik görüntüleme özellikle ventrikül duvar hareketlerinin değerlendirilmesinde önemli avantaj sağlamıştır.

ÇKBT koroner arter hastalığı tanısında ve takibinde, koroner damar lümeninin ve plakların değerlendirilmesinde kullanılır. ÇKBT'de kesit sayısının 64'e kadar yükseltilmesi ile oldukça yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilmektedir.

Koroner arter hastalığı yönünden yüksek risk taşıyan asemptomatik hastalarda, hem EIBT hem de ÇKBT ile koroner kalsifikasyonların varlığı ve derecesi belirlenebilmekte ve kalsiyum skorlaması yapılabilmektedir.

Bilgisayarlı tomografinin kardiyak görüntülemeye sağladığı katkılardan bir diğeri, miyokard perfüzyon sintigrafisi (MPS) ya da pozitron emisyon tomografisi (PET) gibi fonksiyonel görüntüleme yapılan teknikler ile hibrid olarak kullanılabilmesidir. Böylece kalbin anatomik ve fonksiyonel değerlendirmesi tek bir görüntüleme protokolü ile mümkün olmaktadır. Örneğin 16 kesitli PET-BT hibrid cihazları ile hem koroner BT anjiografi hem de miyokard perfüzyon görüntülemesi yapılabilmektedir.

2.6.4 Manyetik Rezonans Görüntüleme

Manyetik rezonans görüntülemenin (MRG) yüksek uzaysal ve temporal rezolüsyonu, radyasyon maruziyetinin olmayışı ve tek bir görüntüleme ile hem anatomik hem de fonksiyonel bilgilerin elde edilmesi gibi avantajları vardır. Bu nedenle kardiyak görüntülemede önemli modalitelerden biri haline gelmiştir.

MRG ile kardiyak inceleme için önce spin-eko sekansında ve her üç planda (transvers, koronal, sagital) standart görüntüler alınır. Alınan görüntülerin kalbin aksına göre yeniden düzenlenmesiyle kalbin hem kinetik (sinematografik) hem de statik görüntüleri elde edilir. Kinetik ve statik görüntüler üzerinden endokardiyal sınırlar (yüksek rezolüsyon sayesinde) net olarak belirlenebildiği için volüm hesaplamalarının doğruluğu da oldukça yüksektir (20). Her dört boşluğun volümü ve fonksiyonları kolaylıkla değerlendirilebilir. Örneğin ekokardiyografinin atrial fonksiyonların değerlendirilmesinde ki sınırlılığı MRG'de yoktur.

Ayrıca gadolinyum dietilentriamin pentaasetik asit (Gd-DTPA) gibi kontrast ajanlar kullanılarak miyokard perfüzyon görüntülemesi de yapılabilmektedir. Bu teknik miyokardın hasarlı alanında normal miyokard dokusuna göre kontrast maddenin tutulum ve atılımının farklı olması prensibine dayanmaktadır.

2.7 Kardiyak Fonksiyonların Değerlendirilmesinde Kullanılan Nükleer Tıp Yöntemleri

Kardiyak fonksiyonların değerlendirilmesinde temel olarak üç sintigrafik yöntem kullanılmaktadır:

- İlk geçiş radyonüklid anjiografi
- Multipl gated anjiosintigrafi
- Gated SPECT miyokard perfüzyon sintigrafisi

2.7.1 İlk Geçiş Radyonüklid Anjiografi (First Pass RNA)

İlk geçiş radyonüklid anjiografide (RNA) verilen radyoaktif maddenin kalp ve büyük damarlardan ilk geçişi değerlendirilir. Yöntem doğumsal kalp anomalilerinin araştırılması, soldan sağa şantın tespit edilmesi ve kapak yetersizliklerinde prognozun belirlenmesinde kullanılabilse de en sık endikasyonu EF hesaplamasıdır. Özellikle sağ ventrikül EF değeri için doğruluğu oldukça yüksek sonuçlar elde edilmektedir (21,22).

RNA'da kullanılacak radyofarmasötiğin hacmi bolus enjeksiyonu sağlamak için 1 ml'den az ve aktivitesi 15-30 mCi olmalıdır. Tetkikin tekrar edilebilir olması için verilen maddenin vücuttan atılımının hızlı olması istenir. Bu nedenle çalışma için çoğunlukla teknesyum-99m (Tc-99m) ile işaretlenmiş makroagrege albumin (MAA), DTPA ya da sülfür kolloid kullanılır. Eğer ilk geçiş çalışmasının ardından miyokard perfüzyon sintigrafisi de yapılacaksa sestamibi ya da tetrofosmin de kullanılabilir.

Tc-99m ile işaretli maddenin intravenöz olarak bolus enjeksiyonunu takiben, birkaç kalp siklusunun, yüksek sayım alabilen (multikristal) gama kamera ile saniyede 200.000 sayım (yaklaşık 50-100 çerçeve) alınır. Çekim süresi ortalama olarak 30 saniyedir. Görüntüler sağ ventrikül EF değeri hesaplaması için sağ anterior oblik pozisyondan, sol ventrikül EF değeri hesaplaması için ise sol anterior oblik pozisyondan toplanır.

Radyoaktif madde sol ventriküle dolmaya başladığı andan hemen sonraki görüntülerde değerlendirilecek ventrikül boşluğunun sistol ve diyastol sonu görüntülerinde ilgi alanı çizilir. İlgi alanı içindeki sistol ve diyastol aktivitelerinden zemin aktivite sayımı çıkarılarak aşağıdaki formüle göre EF hesaplanır:

EF= end diyastolik sayım-end sistolik sayım/ end diyastolik sayım

RNA çalışmasında, her bir ventrikülün değerlendirilmesi için hastaya farklı pozisyon verilmesi, ritm bozukluklarında yeterli veri elde edilememesi ve görüntü rezolüsyonunun düşük olması rutin klinik çalışmalarda kullanımını kısıtlayan durumlardır.

2.7.2 Multipl Gated Anjiosintigrafi (MUGA)

Gated denge kan havuzu yöntemi olarak da adlandırılan, verilen radyofarmasötiğin kan havuzunda dengeye geldikten sonra kalbin sistol ve diyastolünün değerlendirilmesine dayanan yöntemdir. MUGA ile SVEF hesaplaması, ventrikül boyutları ve duvar hareketleri gibi ventrikül fonksiyonlarına yönelik birçok parametre elde edilebilir.

Çalışma için in-vivo, modifiye in-vivo ya da in-vitro olarak pirofosfat (PYP) ile işaretlenmiş eritrositler kullanılır. Eritrositleri işaretlenen hasta, gama kameraya yatırılarak dedektöre sol anterior oblik pozisyon verilir. Hastaya elektrokardiyografi (EKG) elektrodları bağlanır ve EKG kaydı alınmaya başlanır. Çekim iki R dalgası arasında kalan bir kalp siklusunun önceden belirlenen sayıda çerçevede görüntü alınması şeklinde yapılır. Her kalp siklusundan ortalama 16-24 çerçeve görüntü alınır. Bu olaya "kapılanma" (gating) denir. Çok sayıda kalp siklusundan elde edilen veriler bilgisayar tarafından üst üste bindirilerek birleşik görüntüler elde edilir. Bu özet görüntülerde sistol ve diyastol sonunda elde edilen sayımlardan volüm eğrileri çizilerek SVEF değeri hesaplanır.

Ritm bozukluğu olan hastalarda R-R intervalindeki düzensizlikler ya da cihazın amplitüdü yüksek olan P,Q gibi diğer dalgaları R olarak algılaması nedeniyle oluşan artefaktlar gating işleminin hatalı olmasına neden olur. Bunun için bilgisayarda elde edilen sikluslardan ortalama bir R-R intervali alınarak, bunun tolerans sınırı dışında kalan prematür atımlar ya da artefaktlar filtre edilir.

MUGA'da elde edilen görüntülerin rezolüsyonu RNA'ya göre daha iyidir ancak çalışmanın süresi daha uzundur. MUGA çekimi verilen radyofarmasötik kanda dengeye geldikten sonra yapıldığından, sol ventrikül ve büyük damarlar sağ ventrikül üzerine süperpoze olacağı için sağ ventrikülün değerlendirmesi ilk geçiş çalışması kadar doğru sonuçlar vermez (23).

2.7.3 Miyokard Perfüzyon Sintigrafisi (MPS)

Miyokard perfüzyon sintigrafisi, sol ventrikül fonksiyonlarının ve perfüzyonun aynı anda ve non-invaziv olarak değerlendirildiği bir çalışma olması nedeniyle günümüzde nükleer kardiyolojide en sık kullanılan tetkik haline gelmiştir. MPS için literatürde

%89-92 sensitivite ve %78 spesifite bildirilmiştir (24). MPS'nin klinik endikasyonları aşağıda verilmiştir.

Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinin Klinik Endikasyonları:

- İskemi varlığı, lokalizasyonu ve şiddetinin belirlenmesi
- Tespit edilmiş koroner stenozunun perfüzyona etkisinin değerlendirilmesi
- Miyokard dokusu canlılığının belirlenmesi
- Revaskülarizasyon sonrası tedaviye yanıtın değerlendirilmesi
- Cerrahi öncesi risk sınıflaması ve prognozun belirlenmesi
- Akut göğüs ağrısında iskemik hastalıkların ayırıcı tanısı

Perfüzyon değerlendirmesi, hastaya intravenöz olarak uygulanan radyofarmasötiğin, miyokard dokusu tarafından istirahat ve egzersiz durumunda tutulumlarının karşılaştırılması prensibine dayanır. Ventrikül fonksiyonlarını ise görsel olarak ya da kantifikasyon programlarından elde edilen parametrelerle değerlendirmek mümkündür.

2.7.3.1 Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinde Kullanılan Radyofarmasötikler

Talyum-201 (Tl-201)

Tl-201 bir siklotron ürünüdür. Elektron yakalama ile bozunur ve fiziksel yarı-ömrü 73 saattir. Parçalanmasıyla 167 keV (%8) ve 135 keV'lik (%2) gama ışınları yayar ancak görüntülemede 68-81 keV'lik X ışınları (%98) kullanılır.

İntravenöz uygulamanın ardından verilen dozun %3-5'i miyokarda ulaşır. Tl-201 bir potasyum (K^+) analoğudur ve miyokard hücresine K^+ gibi aktif transport ile alınır. Tl-201'in dağılımı organın kan akımına ve canlı miyokard hücresi varlığına bağlıdır. İstirahat ve normal egzersizde ekstraksiyon fraksiyonu %87'dir.

Tl-201'in miyokard tarafından tutulumu stabil olmayıp kandaki Tl-201 ile sürekli değişim halindedir. Bu değişime redistribüsyon denir. Bu özelliği, görüntülerin değerlendirilmesi sırasında miyokardın iskemik/nekrotik ayırımı için kullanılır. Örneğin başlangıçta Tl-201 tutulumu göstermeyen ancak redistribüsyona uğrayan miyokard alanları iskemik olarak değerlendirilir. Ancak nekrotik miyokard dokusunda canlı hücre olmadığından hem erken hem de geç görüntülerde Tl-201 tutulumu görülmez.

Tl-201'in uzun yarı-ömrü geç görüntüleme yapılabilmesini sağlar. Ancak yüksek radyasyon maruziyeti nedeni ile hastaya verilecek doz kısıtlıdır.

Tc-99m Sestamibi

Tc-99m methoxyisobutylisonitrile (Tc-99m MİBİ) günümüzde en yaygın olarak kullanılan isonitril grubu miyokard perfüzyon ajanıdır. Lipofilik bir ajan olan Tc-99m MİBİ miyokard hücresine pasif difüzyon ile alınır. Hücre içinde mitokondrilerde tutulur. Miyokard dokusunda tutulumu enjekte edilen dozun %1.2-1.5'u kadardır ve ekstraksiyon fraksiyonu %55'tir. Miyokard atılımı yavaş olduğundan redistribüsyonu oldukça düşük orandadır. Bu nedenle dinlenme ve egzersiz çekimlerinde ayrı ayrı enjeksiyon yapılması gerekir. Tc-99m MİBİ hepatobilier sistem yolu ile vücuttan atılır.

Tc-99m'in 6 saatlik kısa yarı-ömrü MİBİ'nin yüksek dozlarda enjeksiyonunu olanaklı kılar. Dolayısıyla görüntü kalitesi Tl-201'e oranla daha iyi olur.

Tc-99m Tetrofosmin

Bir difosmin bileşiği olan Tc-99m tetrofosmin nükleer kardiyolojide gittikçe artan sıklıkta kullanılmaya başlanmıştır. İntravenöz uygulamayı takiben miyokard tutulumu ve kan klirensi oldukça hızlıdır. Bu da enjeksiyonu takiben 5. dk'da görüntüleme yapılabilmesini sağlar. Tutulum ve atılım mekanizması Tc-99m sestamibi ile benzerdir. Ancak karaciğer ve çevre dokulardan atılımı Tc-99m sestamibiden daha hızlıdır.

Tc-99m Teboroksim

Teboroksim, nötral lipoflik bir kompleks olan boronik asit (BATO) bileşiğidir. Teboroksimin diğer miyokard perfüzyon ajanlarından farkı miyokard tutulumunun yüksek koroner kan akımlarında plato yapmayıp lineer olarak artış göstermesidir. Miyokard tutulumu Tl-201'den daha yüksektir ancak atılım klirensi daha hızlıdır. Bu

nedenle görüntülemenin hızlı yapılması gerekir ve gated SPECT görüntüleme için yeterli zaman olmamaktadır. Yine atılımının hızlı olması nedeniyle stres görüntülemede enjeksiyondan hemen sonra görüntü almayı kolaylaştırmak için, egzersiz yerine çoğunlukla farmakolojik stres tercih edilir.

Tc-99m N-NOET

N-ethoxy-N-ethyl dithiocarbamate (Tc-99m N-NOET), Tl-201 gibi redistribüsyon özelliği olan ancak daha yüksek ekstraksiyon etkinliği olan bir miyokard perfüzyon ajanıdır. Tl-201 ile yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, daha yüksek dozlarda uygulanabildiği için görüntü kalitesinin daha iyi olduğu ancak hafif iskemik hasarda Tl-201'den daha az sensitif olduğu bildirilmiştir (25).

Rubidium-82 (Rb-82)

Pozitron emisyon tomografisi (PET) ile yapılan miyokard perfüzyon çalışmalarında en sık kullanılan ajandır. Strontium-82/Rubidium-82 jeneratöründen elde edilir.

Tl-201 gibi bir potasyum analoğu olan Rb-82 hücre zarından aktif transport ile alınır. Yarı-ömrü 75 saniye ve ilk geçiş ekstraksiyon fraksiyonu %50-60'tır. Yarı-ömrünün kısa oluşu görüntüleme için zorluk oluştursa da üretimi için siklotron gerektirmemesi en önemli avantajıdır.

2.7.3.2 Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinde Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri

Planar Görüntüleme

İki boyutlu planar görüntüleme uzun yıllar boyunca miyokard perfüzyon araştırmasında kullanılmış bir yöntemdir. Bu yöntemde intravenöz olarak radyoaktif madde uygulamasını takiben hastadan anterior, sol anterior oblik ve sol lateral projeksiyonlarda görüntüler alınır. Egzersiz ve istirahat görüntülerinde aynı pozisyonun korunması görüntülerin sağlıklı değerlendirilmesi için önemlidir. Ancak planar görüntülerde zemin aktivitenin yüksek olması ya da üst üste binen (süperpozisyon) yapılar değerlendirmeyi kısıtlar.

Günümüzde iki boyutlu görüntüleme, hastanın SPECT görüntülemeyi tolere edemeyecek kadar klostrofobisi olması ya da SPECT görüntülemede görüntü kalitesini bozacak derecede obez olması gibi birkaç istisnai durum dışında kullanılmamaktadır.

Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi (SPECT)

SPECT, günümüzde miyokard perfüzyon sintigrafisinin standart yöntemidir. Bu yöntem gama kameranın hasta etrafında 32-64 kez duraklayarak ve 180-360^0 dönerek kaydettiği kesitsel görüntülerin geri projeksiyon yöntemleri ile üç boyutlu hale getirilmesi esasına dayanır. Görüntülemeden önce, dedektör sayısı ve açısı, her bir duraklamada sırasında alınacak görüntünün süresi ya da dedektörün yörünge şekli gibi parametreler değiştirilebilir.

Görüntüler planar yönteme kıyasla yüksek kontrast rezolüsyonuna sahiptir. Ancak görüntü kalitesini bozan faktörlere ve artefaktlara çekim sırasıda dikkat edilmelidir. Örneğin çekim süresinin uzaması hasta hareketi ihtimalini arttıracağından, yeterli sayımın alınabildiği en kısa görüntüleme süresi belirlenmelidir. Tek dedektörlü gama kamera ile SPECT görüntüleme yapılabilse de multipl dedektörler ile görüntüleme süresi kısalmaktadır. Multipl dedektörlü gama kamera ile yapılan çalışmada süre genellikle 20-30 dk. ve alınan sayım toplam olarak 10 milyonun üzerindedir.

Gated SPECT

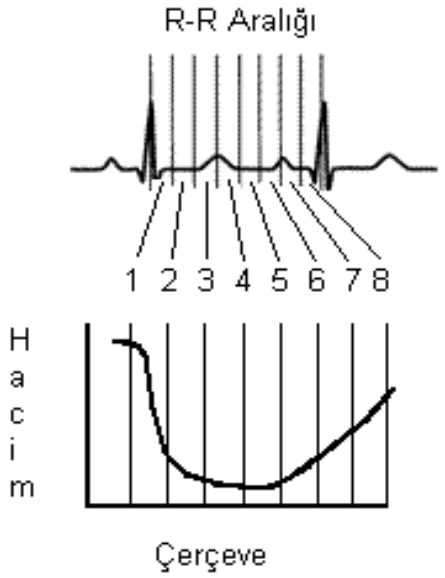
Gated SPECT, yapılan SPECT çalışmasının EKG ile senkronize edilmesi yoluyla kalbin üç boyutlu ve sinematografik görüntülerinin elde edilmesi çalışmasıdır. Bu çalışma, ventrikül fonksiyonlarının sayısal değerler ile değerlendirilmesine ve ventrikül fonksiyonlarının incelenmesine olanak sağlar. Ayrıca meme ve diafragma atenüasyonlarının gerçek perfüzyon defektlerinden ayırt edilmesine yardımcı olabilir (26).

Bu çalışma için standart SPECT çekimi sırasında hastanın üç derivasyondan (I, II, III) EKG kaydı alınır. Veri toplama işlemi bir R dalgası ile başlar ve aritmik vurular kayıt dışında bırakılır. Kalp siklusu (R-R mesafesi) genellikle 8 çerçeveye bölünür. Kalp siklusunun 8 yerine 16 çerçeveye bölünmesi de mümkündür fakat yapılan çalışmalar 16 çerçeve kullanılmasının çalışmanın doğruluğuna belirgin bir katkısı

olmadığını göstermiştir (27). Ancak 8'den az çerçeve temporal rezolüsyonu düşürür ve kalbin sistol ve diyastol sonu sınırları net olarak saptanamayacağı için ejeksiyon fraksiyonu hesaplamalarının doğruluğu azalır.

Gated SPECT görüntüleme için birden fazla kardiyak siklusun sistol ve diyastol fazından görüntü alınır. Sistol ve diyastol sonundaki miyokard sınırları kullanılan yazılım programları ile otomatik olarak tanımlanır. Her bir çerçeve için ventrikül hacimleri hesaplanarak hacim-çerçeve eğrisi elde edilebilir (Şekil 2.2.).

SVEF hesaplamasında altın standart olarak kabul edilen ilk geçiş radyonüklid anjiografi gibi yöntemlerle gated SPECT ile hesaplanan SVEF değerlerinin, karşılaştırmasının yapıldığı çalışmalarda yüksek derecede korelasyon saptanmıştır (28,29).



Şekil 2.2. Hacim-Çerçeve Eğrisi

2.7.3.3 Kardiyak Stres Yöntemleri

Miyokard perfüzyon sintigrafisinde kardiyak stres testlerinde amaç, stenotik damarın normal damara göre kısıtlı vazodilatasyon kapasitesinden yararlanarak, koroner damarlarda heterojen kan akımı yaratmak ve bunun miyokard perfüzyonu üzerindeki etkilerini gözlemlemektir.

Miyokardın oksijen ihtiyacını arttıran yöntemlerle ya da direk vazodilatör etki yapan ilaçlarla stres testleri uygulanabilir. Egzersiz stres testi çoğunlukla tercih edilen yöntemdir ancak egzersiz yapamayacak hastalarda farmakolojik stres tercih edilebilir.

Egzersiz Stres Testi

Test için çoğunlukla koşu bandı ya da bisiklet ergometresi kullanılır. Egzersiz düzeyini standardize etmek için bazı protokoller geliştirilmiştir. Bunlardan en sık kullanılanı Bruce protokolüdür. Bruce protokolü her bir basamakta koşu bandının eğim ve hızının değiştiği 7 basamaklı bir protokoldür. Ayrıca egzersiz kapasitesi daha düşük hastalarda modifiye Bruce ya da Naughton-Blake protokolleri de kullanılabilmektedir.

Farklı egzersiz protokollerini birbiri ile kıyaslamak için testin egzersiz kapasitesi metabolik eşdeğer (METS) olarak rapor edilmesi faydalıdır. Bir MET, istirahatteki enerji harcamasının (3.5 mL O_2/dk/kg) vücut ağırlığı oksijen uptake'i cinsinden eşdeğeridir.

Test öncesi hastaları kullandıkları ilaçlar sorgulanmalı ve kalp hızını sınırlayıcı etkisi olan ya da iskemiyi maskeleyebilecek ilaçlar kesilmelidir. Beta blokerlerin 72 saat önce, kalsiyum kanal blokerlerinin 48-72 saat önce ve nitrat grubu ilaçların 12 saat önce kesilmesi gerekir.

Egzersiz sırasında ulaşılması gereken maksimum kalp hızı, 220 sayısından hastanın yaşının çıkarılması ile hesaplanır. Hedeflenen maksimum kalp hızının %85'ine ulaşılması iskeminin tespit edebileceği yeterli metabolik aktiviteyi göstermektedir.

Ancak maksimum kalp hızına ulaşılmadan da testin sonlandırılması gereken durumlar olabilir. Kan basıncında progresif azalma ya da kalp hızında azalma gibi hemodinamik değişikliklerde, aşırı yorgunluk, 3-4 derece anjina, dispne, ataksi gibi semptomlarda ve EKG'de izlenen >3mm ST çökmesi, >1mm ST elevasyonu, ventriküler taşikardi, ektopik supraventriküler taşikardi gibi durumlarda egzersiz testi sonlandırılmalıdır.

Egzersiz testinin kesin kontrendikasyonları:

- Unstabil anjina
- Dekompanse kalp yetersizliği
- Kontrol edilemeyen hipertansiyon (Sistolik>200 mmHg, Diyasyolik>110 mmHg)
- Kontrol edilemeyen kardiyak aritmiler (semptoma neden olan ya da hemodinamik etkileri görülen)
- Ciddi semptomatik aort stenozu
- Akut pulmoner emboli
- Akut miyokardit ya da perikardit
- Akut aort disseksiyonu
- Ciddi pulmoner hipertansiyon
- Akut miyokard enfarktüsü (<4 gün)
- Herhangi bir nedenle oluşan akut hastalık

Egzersiz testinin rölatif kontrendikasyonları:

- Bilinen sol ana koroner arter stenozu
- Orta dereceli aort stenozu
- Hipertrofik obstrüktif kardiyomiyopati ya da çıkış yolu obstrüksiyonu yaratan diğer durumlar
- Belirgin taşiaritmi ya da bradiaritmi
- Yüksek dereceli atrioventriküler (AV) blok
- Elektrolit anormallikleri
- Yeterli derecede egzersiz yapamayacak kadar mental ya da fiziksel rahatsızlık

- Sol dal blok, kalp pili olan hastalar ya da ventriküler erken vuru (Wolf-Parkinson-White sendromu)

Yukarıdaki kontrendikasyonlardan herhangi birine sahip olan hastalarda farmakolojik stres tercih edilmelidir (30).

Farmakolojik Stres Testi

Farmakolojik stres testi için en sık kullanılan maddeler adenozin, dipridamol, regadenezon ve dobutamindir. Test öncesi hastaların 4-6 saat aç olması istenir. Adenozin ya da dipridamol kullanılacaksa ksantin içeren ilaçlar uygulamadan 48 saat önce, kafein ise 24 saat önce kesilmelidir. Dobutamin uygulamasında 48 saat önceden beta bloker ilaçların kesilmesi gereklidir. Ajanların infüzyonu sırasında hasta monitörize edilmeli ve sık aralıklarla kan basıncı takipleri yapılmalıdır.

Adenozin endojen olarak da üretilen, koroner arter endotelinde cAMP miktarını arttırarak vazodilatör etki yapan stres ajanıdır. Adenozin ile yüzde kızarma, baş ağrısı, baş dönmesi, göğüste rahatsızlık hissi, gastrointestinal rahatsızlık gibi yan etkiler sık görülse de yarılanma süresi kısa (4-10 sn) olduğundan etkilerinin geri dönüşümü ve yan etkilerin kontrol edilmesi kolaydır. Ciddi yan etkilerin oluşması durumunda, adenozinin etkisini reseptör düzeyinde bloke eden aminofilin uygulanabilir. Adenozin, 140 μg/kg/dk dozunda, 6 dakika iv infüzyon şeklinde uygulanır. İnfüzyonun başlamasından 3 dk sonra radyofarmasötik uygulanır.

Bronkospastik ya da ağır obstrüktif akciğer hastalığı, unstabil anjina, yeni geçirilmiş miyokard enfarktüsü, sistolik kan basıncının 90 mmHg'dan düşük olduğu hipotansiyon, ikinci ve üçüncü derecede AV blok gibi durumlarda adenozin stres testi kontrendikedir.

Dipridamol adenozinin hücresel geri alımını engelleyerek interstisyel adenozin düzeyini arttıran, indirekt etkili bir vazodilatör ajandır. Koroner vazodilatasyon ve reaktif hiperemi oluşturur. Plazma yarılanma süresi 15-30 dk kadardır. 0.56 mg/kg dozunda, 4 dakika iv infüzyon şeklinde uygulanır. Uygulama öncesi hasta hazırlığı adenozin ile aynıdır. Enjeksiyonun tamamlanmasından 3-5 dk sonra radyofarmasötik

enjekte edilir. Yan etkileri adenozin ile benzer olmakla birlikte daha nadir görülmektedir. Etkiler adenozinde olduğu gibi aminofilin ile bloke edilebilir.

Dobutamin bir beta reseptör agonistidir. Adrenerjik reseptörler üzerinden etki ederek kalp hızında, sistolik kan basıncında ve miyokard kontraktilitesinde artışa neden olur. 5-10 μg/kg/dk dozunda verilmeye başlanır ve istenen kalp hızına ulaşılana kadar 3 dakikalık zaman aralıkları ile doz arttırılarak maksimum 40 μg/kg/dk doz sınırına kadar verilebilir. Dobutamin daha çok astım ya da kronik obstrüktif akciğer hastalığı olan, dipridamol ve adenozinin uygulanamadığı durumlarda tercih edilir. Çarpıntı, göğüs ağrısı, baş ağrısı, dispne gibi yan etkileri beta bloker ile geri çevrilebilir. Dinamik egzersiz testinin kontrendike olduğu durumlarda dobutamin uygulaması da önerilmez.

2.7.3.4 Miyokard Perfüzyon Sintigrafisi Görüntüleme Protokolleri

Miyokard perfüzyon sintigrafisinde kullanılan çekim protokolleri kullanılan radyofarmasötiğe, kliniğin yeri ve hasta kapasitesine, hastanın vücut kitle indeksine ve klinisyenin tercihine göre değişiklikler gösterebilmektedir.

Tl-201 ile Görüntüleme Protokolü

Tl-201 ile miyokard perfüzyon sintigrafisi çalışmasında önceki zamanlarda birinci gün stres ikinci gün rest olmak üzere iki gün protokolü uygulanmaktaydı. Ancak günümüzde yaygın olarak tek doz enjeksiyon ile hem stres hem de rest görüntülemenin alınabildiği tek gün protokolü tercih edilmektedir.

Radyofarmasötik olarak Tl-201 kullanıldığında her zaman önce stres çalışması yapılır. Egzersiz ya da farmakolojik stres ile maksimum kalp hızı ya da yeterli koroner vazodilatasyon elde edildiğinde, hastaya 2.5-4.0 mCi Tl-201 i.v olarak uygulanır. Stres görüntüleme radyofarmasötik verildikten sonraki 5.-7. dakikalar içinde alınmaya başlanır.

Rest (redistribüsyon) görüntüleri enjeksiyonun yapıldığı zamandan 3-4 saat sonra alınır. Rest görüntüleme sırasında çekim protokolü ve hasta pozisyonu ilk görüntüleme ile aynı olmalıdır. Elde edilen görüntüler stres görüntüleri ile karşılaştırılır. Eğer stres ve rest çalışmalarında sabit olarak kalan perfüzyon defekti alanı izleniyorsa

enjeksiyondan 18-24 saat sonra geç görüntü alınabilir ya da 1-2 mCi Tl-201 yeniden enjekte edilerek (reenjeksiyon) üçüncü bir görüntü alınır.

Tc-99m İşaretli Radyofarmasötikler ile Görüntüleme Protokolü

Tc-99m sestamibi ve Tc-99m tetrofosminin redistribüsyon özelliği olmadığı için görüntüleme yaparken iki ayrı enjeksiyon gerekir.

Hasta, rest ve stres görüntülerinin aynı günde alındığı tek gün protokolü ile alınacaksa, ilk görüntüleme çoğunlukla istirahat halinde alınır. Hastaya 8-12 mCi radyofarmasötik i.v olarak verildikten sonra rest görüntüler alınır. Rest görüntülemeden ortalama 2 saat sonra hastaya egzersiz ya da farmakolojik stres uygulanır. Maksimum kalp hızına ulaşıldığında ya da yeterli koroner vazodilatasyon elde edildiğinde 24-36 mCi radyofarmasötik verilerek stres görüntüleri alınır.

Doku atenüasyonunun fazla olduğu durumlarda (obezite, büyük meme dokusu) düşük doz ile görüntüleme tercih edilmez. Bu grup hastalarda iki gün protokolü ile hasta alınması daha avantajlıdır. Ayrıca rest görüntülemede verilen dozun rezidüel aktivitesinin stres görüntülemeyi etkilememesi için de en uygun protokol iki ayrı günde rest ve stres çalışmalarının yapılmasıdır. İki gün protokolünde, hem rest hem de stres çalışması için maksimum doz (24-36 mCi) uygulanarak görüntüler alınır.

Dual İzotop Yöntemi ile Görüntüleme Protokolü

Farklı fotopik enerjilerine sahip iki ajan olan Tl-201 ile Tc-99m işaretli radyofarmasötiklerin bir arada kullanıldığı görüntüleme protokolüdür. Rest görüntüleri için Tl-201, stres görüntüleri için Tc-99m işaretli radyofarmasötikler kullanılır.

Dual izotop ile yapılan görüntülemenin iki avantajından biri rest ile stres görüntüleri arasında bekleme gerekmemesidir. Diğer bir avantajı ise kalbin kinetik fonksiyonları ile viabilite değerlendirmesinin aynı anda yapılabilmesidir.

2.7.3.5 Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinde Görüntü Elde Edilmesi

Miyokard perfüzyon sintigrafisi hastanın göğsü etrafında dönen bir gama kamera ile birçok farklı açıdan elde edilen planar görüntülerin toplamından oluşur. Bu iki boyutlu görüntüler “ham veri” olarak adlandırılır. Her ne kadar elde edilen ham

verilerden de bazı önemli bilgiler elde edilebilse de, miyokardın perfüzyon ve fonksiyonunun tam ve doğru olarak değerlendirilmesi için üç boyutlu, grafiksel ya da hareketli görüntülerinin incelenmesi gerekir.

2.7.3.6 Miyokard Perfüzyon Sintigrafisinin Değerlendirilmesi

Miyokard perfüzyon sintigrafisinin değerlendirilmesinde aşağıda belirtilen basamaklar izlenmelidir:

- SPECT görüntülerinin kalite kontrolü
- Gated SPECT görüntülerinin kalite kontrolü
- Gated SPECT çalışmasının rekonstrüksiyonu
- Görüntülerin genel değerlendirmesi
- Perfüzyonun değerlendirilmesi
- Sol ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilmesi
- Elde edilen verilerin klinik bilgilerin ışığında klinisyene rapor edilmesi

2.7.3.5.1 SPECT Görüntülerinin Kalite Kontrolü

Kalbin Yukarıya Doğru Hareketi: Stres görüntülemede, egzersizden hemen sonra yapılan çekimlerde görülür. Aşırı egzersize bağlı olarak çekim sırasında kalbin yukarıya doğru yavaşça hareketidir. Kadınlarda ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı olan hastalarda daha sık karşılaşılmaktadır. Hareketin oranına göre kalbin anteroseptal ya da inferoseptal bölgesinde yanlış pozitif perfüzyon defektleri oluşturabilir.

Hasta Hareketi: Görüntüleme sırasında hastanın hareketi görüntü kalitesini bozacağından hareketin kontrolü her çalışma için rutin bir değerlendirme olmalıdır. İnceleme çoğunlukla, tüm projeksiyonların tek bir özet görüntüde toplandığı sinematografik görüntülerden yapılır. 2 pikselden daha fazla olan deviasyon görüntü kalitesini olumsuz yönde etkiler.

Hasta hareketinin değerlendirilmesinin diğer bir yolu sinogram görüntülerinin incelenmesidir. Sinogram, her bir projeksiyondan alınan görüntülerin vertikal olarak üst üste yığılması ile elde edilen bir eğridir. Sol ventrikül her projeksiyonda görüntü alanının merkezinde olmadığından, görüntülerin üst üste getirilmesi ile ortaya sinüzoidal bir eğri çıkar. Kalbin herhangi bir deviasyonu sinogram eğrisinde kırılma olarak izlenir.

Görüntülerin kontrolü sırasında hasta hareketi tespit edilirse ideal olan çekimin tekrarlanmasıdır. Eğer bu mümkün değilse otomatik hareket düzeltme programları ile vertikal eksendeki harekete bağlı oluşan artefaktlar ortadan kaldırılabilir.

Atenüasyon Artefaktları: Görüntü alanına giren yumuşak dokular görüntü kalitesini olumsuz etkiler. Kadınlarda ve erkeklerde atenüasyona neden olan tutulumlar farklılık gösterir.

Erkeklerde daha sık görülen diafragma atenüasyonu kalbin inferior duvarında azalmış aktiviteye neden olur. Bunun nedeni subdiafragmatik organların kalp ile gama kamera arasında pozisyonlanmış olmasıdır.

Kadınlarda ise meme atenüasyonu sık görülür ve bu da meme dokusunun büyüklüğü ve pozisyonuna bağlı olarak, kalbin anterior duvarında, lateral duvarında ya da apeksinde azalmış aktivite izlenmesine neden olur.

Aşırı yağ dokusu, kas hipertrofisi, çekim sırasında artrit gibi nedenlerle sol kolun yukarı kaldırılmamış olması diğer yumuşak doku atenüasyon nedenleri olarak sayılabilir.

Atenüasyon oluşturan neden çoğu zaman işlenmemiş sinematografik görüntülerden tanınabilse de bazen iskemi ya da skar dokusundan ayrımı zor olabilir. Örneğin memenin rest ve stres çekimlerinde farklı pozisyonda olması atenüasyon artefaktının iskemi olarak yorumlanmasına neden olabilir. Böyle durumlarda gated SPECT görüntülerinden hipoperfüze olarak izlenen ventrikül duvarının sistoldeki kalınlaşmasını ve duvar hareketini incelemek, atenüasyonu perfüzyon patolojilerinden ayırt etmeyi sağlayabilir.

Özellikle diafragma atenüasyonunda hastaya prone pozisyon verilerek görüntü alınmasının atenüasyonun ortadan kaldırılmasında yararlı olduğunu bildiren çalışmalar

mevcuttur (31,32). Prone pozisyonda kalp göğüs ön duvarına daha yakın olacağından, inferior duvar subdiafragmatik yapılardan kısmen uzaklaşmış olur.

Ayrıca bazı kamera sistemlerinde transmisyon görüntüleme ile atenüasyon düzeltmesi yapan programlar mevcuttur. Transmisyon görüntüleme için ya bir gadolinium-153 kaynağı kullanılır ya da BT'nin transmisyon görüntülerinden faydalanılır.

Ekstrakardiyak Aktivite: Tl-201 ve Tc-99m ile işaretlenmiş radyofarmasötikler, tiroid, tükrük bezleri, iskelet kasları ve böbrekler tarafından tutulabilir.

Özellikle Tc-99m ile işaretli radyofarmasötiklerin rest görüntüleri ya da farmakolojik stres uygulamalarında karaciğer ve safra kesesi tutulumları belirgindir. Karaciğer ve kalın barsak tutulumları saçılıma neden olarak görüntülerin değerlendirilmesini zorlaştırabilir.

Ekstrakardiyak fokal tutulumlar görüntülerin işlenmesi sırasında eğer mümkünse görüntü alanı dışında bırakılmaya çalışılmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda ekstrakardiyak alandaki aktivite atıldıktan sonra görüntüleme tekrarlanabilir.

2.7.3.5.2 Gated SPECT Görüntülerinin Kalite Kontrolü

Ventrikül fonksiyonlarının değerlendirilebilmesi ve kantitatif sonuçların elde edilebilmesi için çalışma boyunca yeterli elektrokardiyografik verinin toplanmış olması gerekir.

Yetersiz EKG verisinin en sık karşılaşılan göstergesi, dönen planar projeksiyon görüntülerinde parlama paterninin görülmesidir.

Ancak ideal olarak gating kontrolü kalp hızı histogramı incelenerek yapılır. Histogramda kalp hızının çalışma boyunca belirli bir aralıkta olup olmadığı kontrol edilir.

Ayrıca zaman-volüm eğrisinde bozulmaya neden olacağından, gating hataları bu eğri üzerinden de araştırılabilir.

2.7.3.5.3 Gated SPECT Çalışmasının Rekonstrüksiyonu

Görüntülerin işlemlemesi birkaç basamaktan oluşmaktadır. İlk olarak, yalnızca kalbin sınırlarını içeren, batın aktivitesinin ve diğer tutulumların dışarıda kaldığı ilgi alanı belirlenir. Ardından sol ventrikül boşluğunun en iyi görüldüğü vertikal uzun eksen kesitinde kalbin uzun aksı tanımlanmalıdır. Uzun aks ekseni kalbin apeksini kesmeli ve ventrikül duvarlarına paralel olmalıdır. Bu tanımlama kalbin horizontal uzun eksende, vertikal uzun eksende ve kısa eksende en uygun kesitlerinin elde edilmesi için gereklidir. Kalbin aksı doğru seçilmediğinde polar tomogramlar ve kantitaitf hesaplamalar hatalı sonuçlar verir.

Kullanılan yazılım programları kalbin üç ayrı eksende kesitleri, üç boyutlu görüntüleri ve polar tomogramları olmak üzere üç farklı yöntem ile kalbin görüntülenmesine olanak sağlar.

2.7.3.5.4 Görüntülerin Genel Değerlendirmesi

SPECT görüntülerinin ilk değerlendirmesi hastanın yaşı, cinsiyeti, boy ve kilosu dışında herhangi bir klinik bilgi olmadan yapılmalıdır. Perfüzyonun şiddeti ve yaygınlığından bağımsız olarak bazı sintigrafi bulgularının da prognostik önem taşıdığı gösterilmiştir. Bunlardan en önemlileri geçici ventriküler dilatasyon, akciğer tutulumu ve sağ ventriküler tutulumdur.

Ventriküler Dilatasyon: Sol ventrikül genişlemesi rest ve stres görüntüleri için ayrı ayrı incelenmelidir. Hem rest hem de stres görüntülerde sol ventrikül dilatasyonu varsa bu çoğunlukla sol ventrikül sistolik disfonksiyonunu gösterse de ciddi aort regürjitasyonu gibi sistolik fonksiyonun normal olduğu ancak aşırı volüm yüklenmesi olan durumlarda da görülebilir.

Sol ventrikül kavitesinin, stres görüntülerinde rest görüntülerine göre daha dilate olarak izlenmesi (artmış stres/rest oranı) geçici iskemik dilatasyon (TID) olarak adlandırılır ve ciddi koroner arter hastalığının bir göstergesidir (33). Ancak stres ile sol ventrikülün dilate olması subendokardiyal iskemiye bağlı olduğundan bu durum mikrovasküler hastalıklarda da koroner arter hastalığı olmadan görülebilir.

TID' nin normal değeri kullanılan yazılım programına, çekim parametrelerine ve görüntüleme protokolüne göre değişiklik gösterir. Önceki yıllarda farmakolojik stres ile TID saptanan hastaların, egzersiz uygulanarak TID saptanan hastalara oranla KAH prognozu bakımından daha büyük bir risk altında olduğu belirtilmişse de; günümüzde stres yönteminin TID indeksine ya da prognoza herhangi bir etkisi olmadığı gösterilmiştir (34,35).

Akciğer Tutulumu: Tl-201 ile yapılan miyokard perfüzyon sintigrafisinde akciğerde belirgin Tl-201 tutulumunun kötü prognoz göstergesi olduğu bildirilmiştir (36,37). Ancak Tc-99m işaretli radyofarmasötiklerin akciğer tutulumlarının prognostik gösterge olduğuna dair bir fikir birliği bulunmamaktadır.

Sağ Ventriküler Tutulum: Miyokard perfüzyon sintigrafisinde sağ ventrikülde artmış aktivite izlenmesi sağ ventrikül hipertrofisini gösterir. Normal bir çalışmada sağ ventrikül aktivitesinin, sol ventriküldeki en yoğun aktivite alanının %50'sinden az olması gerekir.

Ancak sol ventrikül aktivitesinin global olarak azaldığı durumlarda sağ ventrikül aktivitesi rölatif artmış olarak izlenebilir. Bu durum, her iki ventrikülün gated SPECT görüntülerden duvar hareketleri ve fonksiyonları incelenerek ayırt edilebilir.

Sağ ventriküler tutulum dışında interventriküler septumun düzleşmesi de (sağ ventrikül içerisine doğru olan konkavitesini yitirmesi) sağ ventrikül yüklenme bulgusu olarak kabul edilmektedir (38).

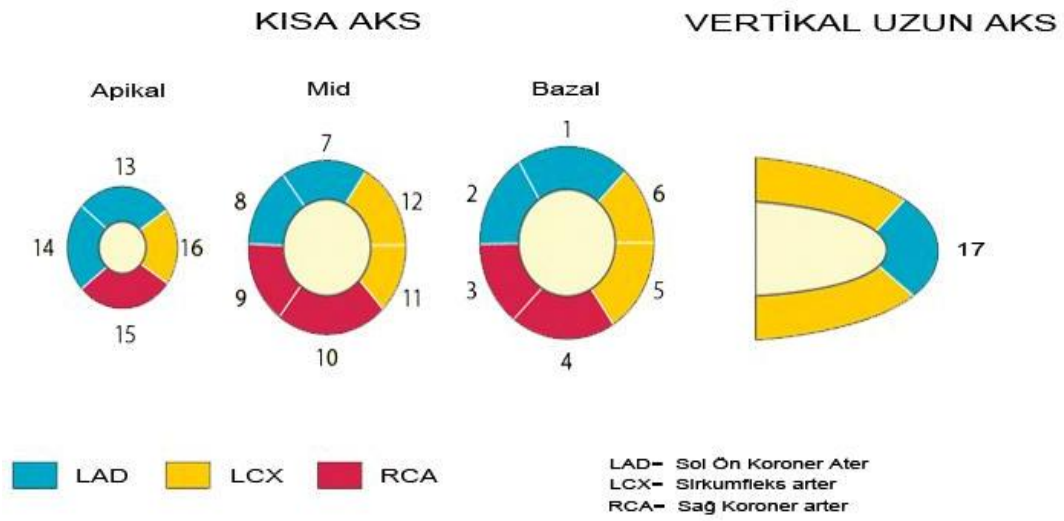
2.7.3.5.4 Miyokard Perfüzyonunun Değerlendirilmesi

Miyokard perfüzyon defektleri analiz edilmiş görüntülerdeki kesitler üzerinden görsel olarak değerlendirilir. Bir perfüzyon defektini tanımlarken lokalizasyonu, yaygınlığı, şiddeti ve reversibilite özelliği belirtilmelidir.

Defektin Lokalizasyonu: Defektin lokalizasyonu tanımlanırken öncelikle miyokardın duvarlarındaki (apeks, anterior, lateral, inferior) yerleşim yeri tanımlanır. Ardından bu duvarın hangi seviyesinde yer aldığı (apikal, orta, bazal) belirtilmelidir.

İzlenen defektin tanımlanmasının kişiden kişiye değişebileceği göz önünde bulundurularak, miyokard segmentlerinin standardizasyonu yapılmıştır. Segment

haritalarında en sık kullanılanı 17 segment modelidir (Şekil 2.3.). Ayrıca daha az kullanılan 20 segment modeli de tercih edilebilir.



1. Bazal anterior
2. Bazal anteroseptal
3. Bazal inferoseptal
4. Bazal inferior
5. Bazal inferolateral
6. Bazal anterolateral
7. Mid anterior
8. Mid anteroseptal
9. Mid inferoseptal
10. Mid inferior
11. Mid inferolateral
12. Mid anterolateral
13. Apikal anterior
14. Apikal septal
15. Apikal inferior
16. Apikal lateral
17. Apikal

Şekil 2.3. 17 Segment modeli ve miyokard bölümlerinin adlandırılması

Defektin Şiddeti ve Yaygınlığı: Defektin şiddeti kalitatif olarak hafif, orta ve ciddi olarak belirtilir. Hafif perfüzyon defektleri duvar kalınlığında incelme olmadan, komşu miyokard dokularına göre aktivitede azalma olarak tanımlanır. Orta dereceli defektlerde duvar kalınlığında incelme de olur. Ciddi derecede defektlerde ise zemin aktiviteye yakın düzeyde aktivite tutulumu izlenir.

Defektin yaygınlığı kalitatif olarak küçük, orta ve büyük olarak tarif edilebilir. Semikalitatif değerlendirmede, tüm ventrikülün %10'undan az alanı kaplayan defektler küçük, %10-20 alanı kaplayan defektler orta ve %20'den daha büyük alana yayılan defektler ise büyük defektler olarak tanımlanır.

Görsel değerlendirmeyi desteklemesi bakımından perfüzyonun semikantitatif analizi miyokard perfüzyon sintigrafisinin yorumlanmasında oldukça önemlidir. Kantitatif analiz için iki yöntem kullanılabilir. Bunlardan biri kısa eksen kesitlerinin tek bir düzlemde birleştirilmesiyle oluşturulan polar haritalar (bulls-eye) diğeri ise segmental skorlama sistemidir. Otomatik yazılım programları, kullanılan radyofarmasötiğe ve hastanın cinsiyetine göre normalize edilmiş polar haritalar ile hastanın sayım yoğunluğu değerlerini karşılaştırır. Bunun sonucunda hem defektin hem de reversibilitenin oransal sonuçlarını bir renk skalası üzerinden verir.

Defektin yaygınlığı ve şiddetini belirlemek için kullanılabilecek bir diğer yöntem olan segmental skorlama sisteminde, polar haritalarda yapılan karşılaştırma bir renk skalası yerine puanlama olarak yapılır. Bunun için kalbin 17 segmentli modeli kullanılır. Her bir segmentin sayım yoğunluğuna, o segmentin normalde olması gereken sayım yoğunluğuna kıyasla puan atanır. Otomatik programların semikantitatif değerlendirmesinde;

0 → Normal perfüzyon alanları

1 → Sayımın normal perfüzyona göre rölatif düşük olduğu alanlar

2 → Sayımın normal perfüzyona göre azaldığı alanlar

3 → Sayımın normal perfüzyona göre belirgin azalma gösterdiği alanlar

4 → Aktivitenin izlenmediği alanlar

için tanımlanmış skorlardır. Dolayısıyla normal perfüzyona sahip bir miyokard dokusunda tüm segmentlerin puanlaması sıfır olmalıdır.

Reversibilite: Miyokardın belirli bir alanında stres görüntülerinden elde edilen sayımın, rest görüntülerinden elde edilen sayıma göre düşük olması durumudur.

Reversibilitenin varlığından görsel değerlendirme ile emin olunamadığı durumlarda semikantitatif değerlendirme yapılabilir. Toplam stres skoru ile toplam rest skoru arasındaki farkın alınmasıyla elde edilen toplam fark skoru reversibiliteyi gösterir.

2.7.3.5.5 Sol Ventrikül Fonksiyonlarının Değerlendirilmesi

Duvar Hareketleri ve Duvar Kalınlığı

Miyokard perfüzyon sintigrafisi ile görüntüleme yapılmış tüm hastalara, hem ek bir maliyetinin olmaması hem de perfüzyon değerlendirmesine ek bilgiler sağlaması nedeniyle sol ventrikül fonksiyonlarının değerlendirmesi rutin olarak yapılmalıdır. Ventrikül fonksiyonları incelenirken, EKG ile senkronize olarak alınmış gated SPECT görüntüler kullanılır.

Bölgesel duvar hareketleri ve sistolik duvar kalınlığını değerlendirmek için hem uzun aks hem de kısa aks kesitleri incelenmeli ve her kesitte bir kardiyak siklus tam olarak görüntülenmelidir. Bölgesel duvar hareketleri daha çok gri skala görüntüleri ile, sistolik duvar kalınlığı ise renkli skala görüntüleri ile incelenmektedir.

Duvar hareketlerini, görsel olarak değerlendirirken analiz programlarının otomatik olarak belirlediği endokardiyal sistol sonu ve diyastol sonu ventrikül duvar sınırlarından yardım alınabilir.

Bölgesel duvar hareketlerini tanımlarken normal, hipokinezi, akinezi ve diskinezi olarak standart bir derecelendirme kullanılır. Eğer semikantitatif bir skorlama kullanılacaksa:

0 → Normal

1 → Hafif Hipokinezi

2→ Orta Hipokinezi

3 → Ciddi Hipokinezi

4 → Akinezi

5 → Diskinezi

olarak derecelendirilir.

Ventrikül duvar kalınlığı günümüz SPECT sistemlerinin uzaysal rezolüsyonu yeterli olmadığı için tam olarak ölçülememektedir. Ancak bölgesel duvar kalınlaşması sistol sonu ve diyastol sonu sayımların farkı alınarak hesaplanabilmektedir.

Duvar kalınlaşması ve duvar hareketi genel olarak birbiri ile uyumludur. Yani miyokard duvarının inceldiği durumlarda hareketinin de azalması beklenir. Ancak bu uyum her zaman izlenmeyebilir. Örneğin kardiyak cerrahi geçirmiş hastalarda septal duvarın kalınlığının normal olmasına karşın hareketin anormal olduğu görülebilir. Miyokard kalınlığı ve hareketi arasında böyle bir uyumsuzluk tespit edilirse raporlamada belirtilmesi önerilir.

Sol Ventrikül Volümleri ve Ejeksiyon Fraksiyonu

Gated SPECT çalışmasından elde edilen kantitatif değerler planar görüntülemelerde olduğu gibi sayım temelli yöntemler ile değil hacim temelli yöntemler ile hesaplanmaktadır.

Sol ventrikül volümleri ve SVEF değerinin elde edilmesi, üç boyutlu görüntülerde kapakçıkların düzeyinin ve endokardiyal yüzeyin tanımlanması ile mümkün olmaktadır. Tanımlanan alan içindeki voksel sayısı ile bir vokselin hacminin çarpılması sonucu, o kesitteki hacim elde edilir. Eğer bu işlem kardiak siklusun her bir çerçevesi (genellikle 8 çerçeve) için tekrarlanırsa, zaman-volüm eğrisi elde edilmiş olur. Bu eğrideki en düşük hacim ESV değerini, en yüksek hacim ise EDV değerini vermektedir.

EDV ve ESV değerlerinin hesaplanmasında bazı durumlarda (örn: küçük kalp boyutu) beklenenin altında ya da üstünde değerler elde eldilebilir. Ancak SVEF değeri bu volümlerin oranlaması olduğundan, volümlerin kendisinden daha kesin olarak hesaplanabilmektedir (8). Yapılan çalışmalar hesaplanan ventrikül volümleri ve EF değerlerinin kullanılan radyoizotop ve kamera cinsinden bağımsız olduğunu göstermiştir.

Kantitatif hesaplamaların otomatik olarak yapıldığı birçok program bulunmaktadır. Bu programların her biri kendine özgü matematiksel yöntemler

kullanmaktadır. QGS (Cedars-Sinai Tıp Merkezi), ECTb (Emory Universitesi) ve 4D-MSPECT (Michigan Üniversitesi) yaygın olarak kullanılan programlardan bazılarıdır.

QGS (Cedars-Sinai)

Germano ve arkadaşları tarafından geliştirilen QGS yazılımı, üç boyutlu uzamda çalışan ve sol ventrikülün üç boyutlu görüntüsünü oluşturmak için kalbin kısa eksen görüntülerini kullanan bir programdır (8). Bu programda manuel opsiyon bulunmakla birlikte tam otomatik olarak sol ventrikülün global ve bölgesel fonksiyonunu değerlendirmek mümkündür.

Algoritmanın ilk adımı sol ventrikülün otomatik olarak bölünmesidir. Bu işlem, üç boyutlu görüntünün tekrarlanan piksel erozyonu ve piksel büyümesi işlemleri sonrası kümelenmesi ve bulgusal sınırlandırılması biçiminde yapılır. Bu tekrarlanan süreç, sol ventrikülün beklenen boyut, şekil ve lokalizasyonu ile tutarlı bir model sağlandığında sona erer. Sol ventrikül izole edildiğinde kütle merkezi otomatik olarak tespit edilir ve önce küresel ardından elipsoid modele yerleştirilir. En uygun elipsoid model, sayım profillerinin alınarak yeni koordinat sisteminin tanımlanacağı örneklemdir. Elde edilen sayım profilleri asimetrik Gauss eğirisine uygundur. Gauss eğrisinin en yüksek değeri midmiyokardiyal yüzeyi, standart deviasyon değerleri ise endokardiyal ve epikardiyal yüzeyleri tanımlar (39).

Yüzeyler genellikle perfüzyonun olmadığı alanlarda bile doğru olarak tespit edilebilir. Çünkü algoritma parçalara bölünmüş ancak eşiklenmemiş (thresholding) görüntüler üzerinden işler. Bu nedenle görsel olarak tespit edilemeyen, çok düşük perfüzyonun olduğu alanlar bile saptanabilir.

Endokardiyal, epikardiyal ve kapak düzlemleri her kapılanma aralığı (gating interval) için ayrı ayrı hesaplanır. Sol ventrikül hacimleri, tek bir voksel volümünün, endokardiyal yüzey ve kapak yüzeylerinin sınırladığı alandaki voksel sayısı ile çarpılmasıyla elde edilir. Bu hesaplamayla elde edilen en yüksek sol ventrikül hacmi end-diyastolik hacmi, en küçük sol ventrikül hacmi ise end-sistolik hacmi yansıtmaktadır. Tüm hacimlerden aynı zamanda pik dolum ve pik boşalma oranları gibi çeşitli diyastolik parametrelerin hesaplanabildiği zaman-hacim eğrisi de çizilebilir.

Algoritm daha sonra üç boyutlu endokardiyal yüzeyin sistol ve diyastol sonunda kütle merkezine göre uzaklığını hesaplayarak bölgesel duvar hareketlerini ölçer. Segmental kalınlaşma hem geometrik (endokard ve epikard arasındaki mesafe) hem de sayısal değerlendirmeler (parsiyel volüm efektine bağlı diyastol sonundan sistol sonuna kadar olan sayımın yüzde artışı) kullanılarak hesaplanır.

4D-MSPECT (Michigan Üniversitesi)

Zaman değişkenli olarak ve üç boyutlu görüntü hacminde işlev gören bir algoritmdir. Bu programda duvar hareketlerinin değerlendirilmesi için "centerline metodu" nun üç boyutlu bir modifikasyonu, duvar kalınlaşmasının değerlendirilmesi için "Gaussian metodu" kullanılır.

Endokardiyal ve epikardiyal yüzeylerin tanımlanması, bölünmüş (segmente) görüntüler üzerinden yapılır. Başlangıç yüzey alanları belirlendikten sonra silindirik (bazaldan apekse kadar olan bölüm için) ve küresel (apeks için) örneklem modellerine göre bu alanlar içerisindeki yoğunluk profilleri çıkarılır. Bu yoğunluk profilleri ve kalbin heseplanmış kavsi kullanılarak, perfüzyon defekti gibi veri kaybı olan alanlar doldurulur ve splanknik aktivite minimize edilir. Ortaya çıkan yeni endokardiyal ve epikardiyal yüzeyler kullanılarak Gauss fit tekniği ile pik aktivite ve miyokardiyal kalınlık hesaplanır (40). Emisyon tomografisinin sınırlı rezolüsyonunu telafi etmek için end-diyastolik duvar kalınlığı ortalama 10 mm olarak ayarlanır. Miyokardiyal kütle sınırlaması ile bu ölçek faktörü kardiyak siklus boyunca miyokardiyal kalınlığı tespit etmek için kullanılır.

Daha sonra endokardiyal yüzey kontürlerinden yararlanılarak görüntü hacminin, optimal sol ventrikül merkezinden sapması tespit edilir. Eğer sol ventrikül merkezinin pozisyonu hatalıysa ya da uzun aks optimal ortogonal akstan en az 0.1^{o} sapma gösteriyorsa, örneklem koordinat sistemi sapmaya göre ayarlanarak yüzey algoritmi yeniden başlatılır. Bu tekrarlanan prosedür beş tekrarda tamamlanır ancak genellikle iki ya da üç tekrarda bir noktada birleşir.

Otomatik yeniden hizalama ve merkez bulma algoritmasının, sol ventrikül fonksiyonlarının global ve bölgesel hesaplamalarının tekrarlanabilirliğini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (10).

ECTb (Emory Universitesi)

Kısa eksen görüntüleri üzerinden ve volümetrik düzende işlem yapan bir algoritmdir. Sol ventrikül, belirlenen hacmin ortasına yakın olan nesnelerin tekrarlı sınırlanması işlemi ile izole edilmektedir. Kantitatif parametreler (merkez, yarıçap, apeks ve taban) ekstrakardiyak aktivite ya da geniş perfüzyon defektlerinin neden olduğu hataları en aza indiren tekrarlı sadeleştirme işlemi ile otomatik olarak hesaplanır. Bu sırada destekleyici işlem olan, iki kesişen düzlem (sol ventrikülün lateral yarısında bulunan taban düzlemi ve septal kapakçık seviyesinden geçen açılı düzlem) ile sol ventrikülü tanımlama işlemi yürütülür. Daha sonra hibrid koordinat sistemi kullanılarak sol ventrikülden örneklem alınır. Koordinat sisteminin merkezi sol ventrikülün uzun aksıdır ve araştırma alanı sol ventrikülün yarıçapı, apeksi ve tabanı tarafından kısıtlanır. Sol ventrikülün bazal ve orta kesimi için silindirik koordinatlar, apeks için ise küresel koordinatlar kullanılarak örneklemler alınır. Her örneklemdeki en yüksek sayım oranının miyokard duvarının orta noktası olduğu varsayılarak sol ventrikül modeli oluşturulur. Miyokard kalınlığının end-diyastolde 10 mm olduğu varsayılarak elde edilen sonuçlarda düzeltmeler yapılır. Kardiyak siklus boyunca duvar kalınlaşması bir boyut- yoğunluk ilişkisinin Fourier analizi kullanılarak hesaplanır (9).

Her kapılanma aralığı (gating interval) için, endokardiyal ve epikardiyal uç noktaları, miyokardiyal merkeze miyokardiyal kalınlığın bir buçuk katını ekleme ya da çıkarma işlemi tekrarlanarak elde edilir. Böylece endokardiyal yüzeyin çevrelediği alan miyokardiyal hacmi belirler. Sonuçta en küçük endokardiyal hacim end-sistolik volüm ile ve en büyük hacim de end-diyastolik volüm ile uyumludur (41).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Hasta Grubu

Retrospektif olarak yapılan çalışmamızda, 2005-2009 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı'nda miyokard perfüzyon gated SPECT görüntülemesi yapılmış 100 hasta alındı. Hastaların hepsine gated SPECT çalışmasından önce ya da sonra en fazla 3 ay içerisinde ekokardiyografik inceleme yapılmıştı. 89 hasta (43 kadın, 46 erkek; yaş aralığı: 27-86; ortalama yaş: 51.2±11.6) çalışma grubunu oluşturdu. Hastaların kardiyolojik anamnezlerinde göğüs ağrısı (n= 62), anormal EKG (n= 29), pozitif efor testi (n= 7), daha önce geçirilmiş miyokard enfarktüsü (n= 5) mevcuttu. Perfüzyon defekti olmayan hastalar grup 1 (n= 60) ve perfüzyon defekti tespit edilen hastalar grup 2 (n= 29) şeklinde iki gruba ayrılarak incelendi. Kliniğimize başvurduğunda tek gün gated SPECT protokolü ile çekime alınmış olan bu hastaların tümünün görüntüleri aynı klinisyen tarafından QGS, 4D-MSPECT ve ECTb programları ile otomatik olarak analiz edildi.

3.2. Ekokardiyografi

Ekokardiyografik inceleme, hastaların tamamına üniversitemizin Kardiyoloji Anabilim Dalı'nda deneyimli klinisyenler tarafından yapılmış olup ölçümler, miyokard perfüzyon gated SPECT çalışmasından önce ya da sonra en fazla 90 gün içinde alınmıştır.

Ekokardiyografik inceleme hastalara sol dekubit pozisyonu verilerek yapıldı. SVEF ölçümü parasternal uzun aks penceresinden Teichoiz yöntemi kullanılarak ve 3 kardiyak siklusun ortalaması alınarak hesaplandı.

End diyastolik ve end sistolik volümler rutin ekokardiyografik inceleme sırasında hesaplanmadığı için yalnızca ejeksiyon fraksiyonu MPS programları verileri ile karşılaştırılmıştır.

3.3. Miyokard Perfüzyon Gated SPECT

Sintigrafik çekimler Siemens E-cam çift başlı gama kamera ve düşük enerjili, yüksek çözünürlüklü kolimatörler kullanılarak yapıldı. Dedektörlerin birbirlerine olan açıları 90^{o} olacak biçimde, 140 ± %20 keV enerji penceresinde, 64x64 matriks ile, R-R

mesafesi 8 eşit aralığa bölünerek, her bir pencerede görüntüleme süresi 25 saniye ve toplam 64 adet görüntü alınarak görüntüleme yapıldı.

Görüntülemeden 48 saat önce bütün hastaların kardiyak medikasyonu kesildi ve hastalar en az 4 saatlik açlık ile çekime alındı. Tüm çekimler tek gün istirahat-egzersiz MIBI protokolü uygulanarak yapıldı. Hastalara dinlenme halinde intravenöz olarak 8 mCi Tc-99m MIBI enjeksiyonu yapıldıktan sonra 15. dakikada hepatobilier klirensi arttırmak için yağlı-proteinli (süt ya da çikolata) yiyecek verildi. Enjeksiyondan 45-60 dakika sonra hastalar supin pozisyonda kamera altına yatırılarak 45^{o} sağ anterior oblik bölgeden 45^{o} sol anterior oblik bölgeye kadar, EKG veri kaydı ile birlikte sayımları alındı.

İstirahat çalışmasından ortalama 3 saat sonra hastaların tümüne modifiye Bruce protokolü kullanılarak egzersiz stres ya da intravenöz dipridamol kullanılarak farmakolojik stres uygulandı. Hedef kalp hızına ulaşıldığı sırada intravenöz 20 mCi Tc-99m MIBI enjekte edilerek 1-2 dakika sonra egzersiz sonlandırıldı. Enjeksiyonu takiben 15. dakikada yeniden yağlı-proteinli (süt ya da çikolata) yiyecek verildi. Radyofarmasötik enjeksiyonundan 45-60 dakika sonra hastaya istirahat görüntülerinde verilen pozisyonun aynısı verilmeye çalışılarak ve aynı parametreler korunarak egzersiz gated SPECT görüntülemesi yapıldı.

3.4. Verilerin Analizi

Görüntülerin rekonstrüksiyonu Butterworth filtresi (order: 5.0; cut off: 0.50 siklus/piksel) kullanılarak filtrelenmiş geri projeksiyon (filtered back projektion) yöntemi ile yapıldı.

QGS, 4DM-SPECT ve ECTb programları ile vertikal ve horizontal uzun eksen kesitlerinde kalbin aks ayarlaması yapıldıktan sonra otomatik kantifikasyon yapıldı. Miyokardiyal sınırların otomatik olarak doğru belirlenemediği durumlarda manuel düzeltme yapıldı. İstirahat görüntülerinden elde edilen EDV, ESV ve SVEF değerleri istatiksiksel analizde kullanıldı.

3.5. İstatistiksel Yöntem

Tüm istatistiksel analizler SPSS 15.0 programı kullanılarak; T testi, ANOVA yöntemi, Pearson korelasyon testi ve lineer regresyon analizi ile incelendi. QGS, 4D-MSPECT ve ECTb programlarından elde edilen ortalama EDV ve ESV değerleri grup 1 ve grup 2 için ANOVA varyans analizi ile karşılaştırıldı. T-testi kullanılarak üç programdan elde edilen SVEF değerleri, ayrı ayrı ekokardiyografik SVEF değerleri ile karşılaştırıldı. $p<0.05$ anlamlı kabul edildi. Lineer regresyon analizi ile programların karşılaştırma grafikleri ve Pearson korelasyon testi ile programların karşılaştırma matriksleri oluşturuldu.

4. BULGULAR

2005-2009 yılları arasında kliniğimizde gated miyokard perfüzyon SPECT çalışması yapılmış olan 89 hastanın cinsiyet ve yaş dağılımı Tablo 4.1.'de verildi. Analiz programları ile yapılan değerlendirme sonuçları Tablo 4.2.'de ve örnek hasta değerlerlendirme sonuçları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterildi.

	Sayı	**Ortalama Yaş**
Kadın	43	51.50±9.41
Erkek	46	51.02±13.64
Toplam	89	51.25±11.67

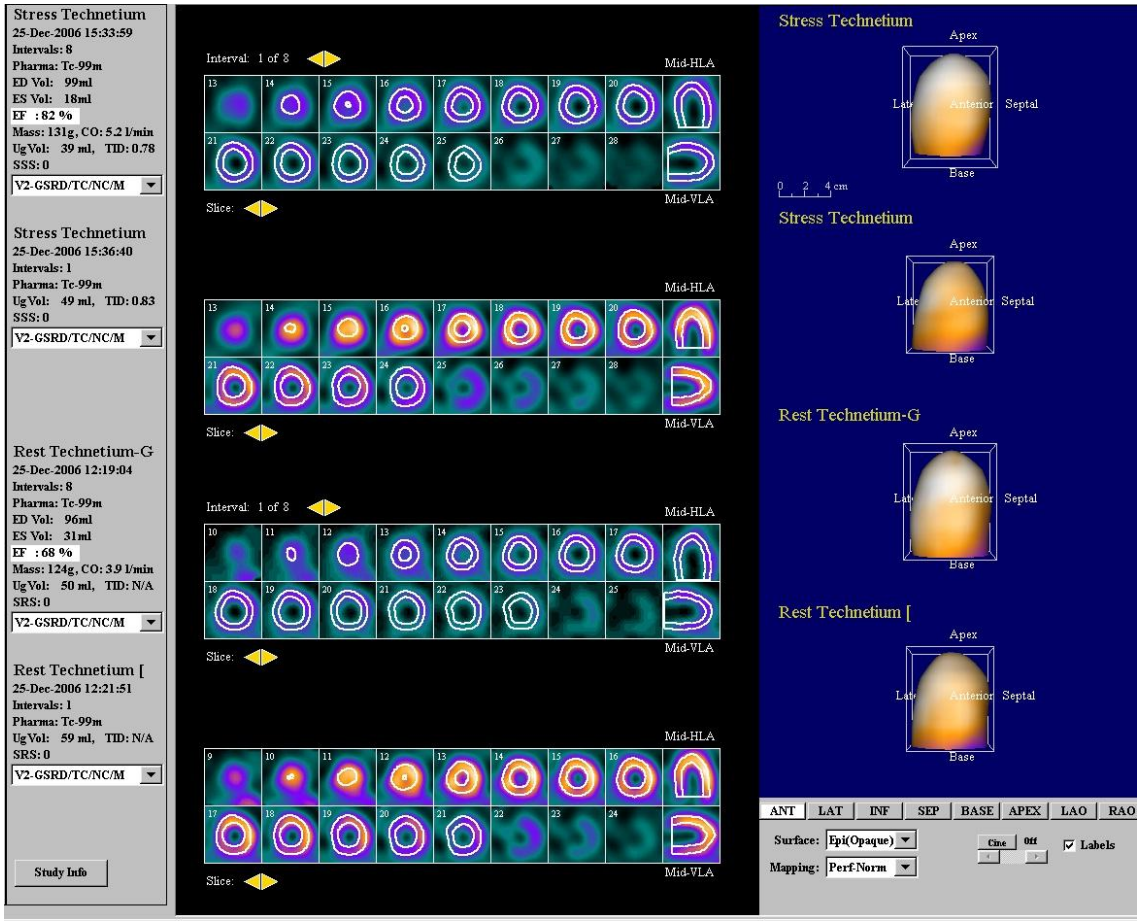
Tablo 4.1. Olguların Cinsiyet ve Yaş Dağılımı

				QGS			4D-MSPECT			ECTb			EKO
No	**Yaş**	**Cins**	**P.D***	**EDV**	**ESV**	**%EF**	**EDV**	**ESV**	**%EF**	**EDV**	**ESV**	**%EF**	**%EF**
1	66	E	1	113	66	42	113	63	44	170	94	44	45
2	76	K	1	98	58	40	134	79	41	155	94	40	45
3	63	E	0	53	17	68	55	17	69	84	24	71	70
4	46	K	0	86	29	66	116	39	67	145	43	70	68
5	67	K	1	129	85	34	171	111	35	190	126	34	34
6	49	K	0	64	20	69	93	27	71	100	29	71	68
7	56	E	1	93	37	61	94	33	65	119	39	67	63
8	46	K	0	61	20	67	90	27	70	58	16	72	70
9	48	K	1	70	31	55	89	38	57	101	45	55	60
10	48	K	0	53	16	69	87	27	69	81	23	72	68
11	54	E	0	70	19	72	72	19	73	92	24	73	70
12	52	K	0	58	20	65	95	27	72	85	24	71	70
13	56	K	0	49	15	69	48	14	71	86	24	72	68
14	29	K	0	47	17	63	72	24	66	76	25	67	66
15	40	K	0	47	14	70	75	20	74	90	23	74	72
16	53	K	0	50	16	68	65	20	69	81	22	72	68
17	60	K	0	55	20	63	62	21	66	65	17	73	64
18	47	K	0	65	23	64	71	25	64	70	21	70	66
19	48	K	1	50	20	60	90	34	62	70	26	62	61
20	48	K	0	75	24	66	63	19	69	68	21	69	70
21	53	K	0	69	22	68	74	21	71	104	32	69	72
22	68	K	1	76	31	59	44	17	61	92	36	60	60
23	45	K	0	53	19	69	65	23	64	72	25	65	66
24	42	K	0	54	20	62	62	22	64	90	31	65	69
25	51	K	0	36	12	67	67	23	66	72	22	70	68
26	60	K	0	59	23	61	66	25	62	94	34	63	63
27	56	E	1	109	52	52	125	52	59	127	51	59	60
28	42	E	0	75	30	60	90	32	64	97	32	67	72
29	44	E	0	73	27	63	92	27	70	95	28	70	67
30	49	K	0	59	23	61	71	26	64	105	36	66	65
31	64	K	1	70	30	57	59	22	63	64	27	58	62
32	33	E	0	66	29	56	79	30	62	69	26	62	62
33	44	E	1	93	34	63	131	47	64	119	46	61	62
34	57	K	0	75	28	62	107	37	65	125	45	64	65
35	46	E	0	77	30	61	88	33	62	106	38	64	60
36	58	K	1	85	33	61	111	44	61	152	66	57	60
37	36	E	0	77	33	57	117	50	57	121	52	57	62
38	52	K	0	59	22	62	71	27	62	98	36	63	60
39	53	E	0	88	31	64	97	34	65	116	40	65	65
40	46	E	1	97	44	55	105	46	56	146	65	56	56
41	78	E	1	78	44	44	98	53	45	117	67	43	45
42	39	K	0	58	17	70	64	17	73	97	26	73	73
43	50	E	0	110	43	60	132	50	62	157	56	64	63
44	86	E	1	53	22	58	74	27	64	87	34	60	57
45	58	E	1	70	25	65	75	26	65	92	33	64	65
46	27	E	0	72	26	64	96	31	68	108	35	68	67
47	83	E	1	75	38	50	86	36	58	120	55	54	60
48	66	E	0	79	25	68	104	32	69	106	31	70	69
49	40	E	0	105	48	54	117	54	54	132	59	56	58
50	42	E	0	78	24	69	92	28	69	116	39	67	68

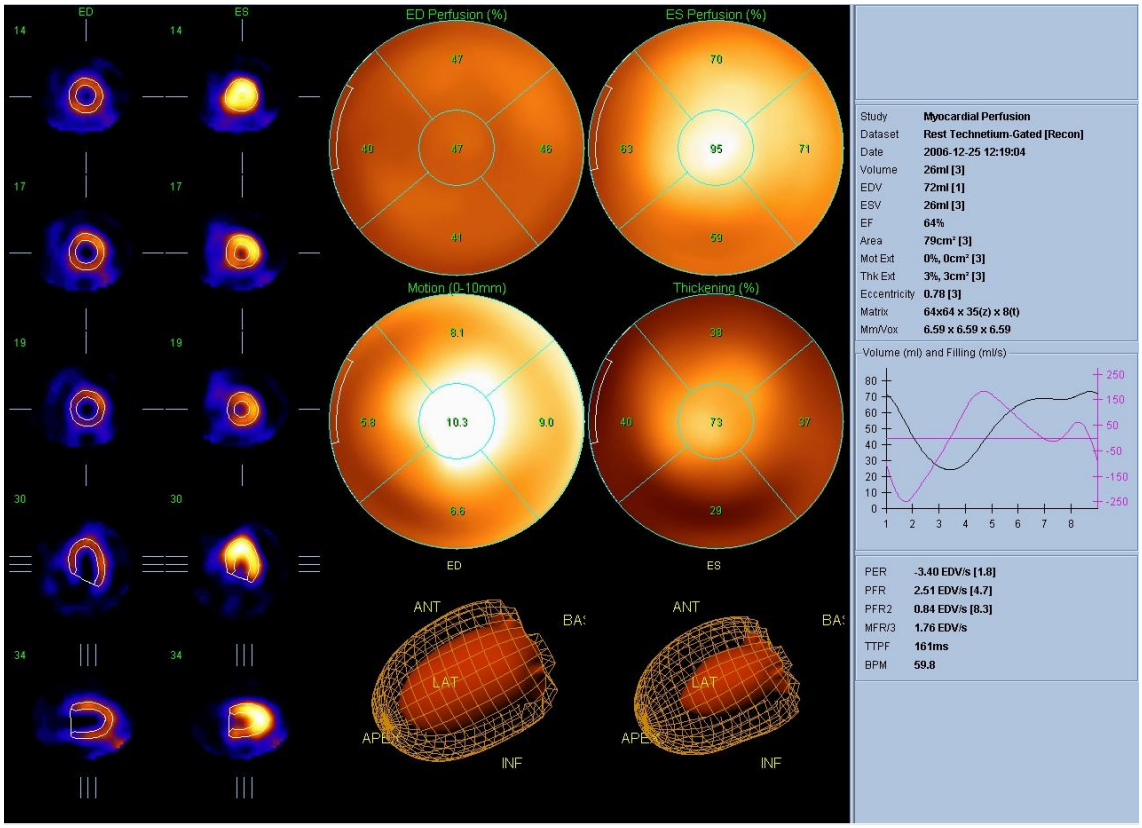
Tablo 4.2. Çalışma grubunu oluşturan hastaların değerlendirme sonuçları
(P.D* = Perfüzyon Defekti; 0=Yok, 1=Var)

51	62	K	1	126	83	34	170	104	39	204	141	31	40
52	42	K	0	56	22	61	47	18	61	60	22	63	66
53	44	K	0	78	28	64	88	30	66	122	40	67	65
54	58	E	0	103	42	60	109	43	60	152	60	61	62
55	52	K	1	93	52	44	120	67	44	162	91	44	48
56	43	E	0	62	23	63	53	19	63	70	26	63	64
57	52	K	1	123	83	33	156	102	34	192	130	32	30
58	36	E	0	72	31	57	94	40	57	93	40	57	59
59	33	E	0	65	20	69	87	25	71	106	32	69	70
60	50	E	0	62	22	64	72	22	70	102	31	69	67
61	64	E	0	78	33	58	107	43	59	125	67	62	60
62	44	E	0	76	35	54	78	36	54	112	48	57	55
63	49	E	0	75	29	61	73	26	65	108	36	67	67
64	67	K	1	72	38	47	83	41	51	114	54	53	50
65	67	K	1	93	37	60	75	28	63	115	48	58	57
66	50	K	1	71	32	54	87	37	57	103	46	55	57
67	65	E	1	83	39	53	81	35	56	112	49	56	55
68	70	E	1	110	49	55	137	60	56	149	65	56	59
69	34	E	0	115	43	62	136	51	62	160	57	64	65
70	48	K	0	80	29	64	85	29	65	132	44	66	60
71	37	K	0	76	28	63	78	27	65	107	36	67	65
72	52	K	0	71	22	69	85	25	70	109	37	67	68
73	41	E	0	97	39	60	124	46	63	139	59	57	60
74	47	E	1	89	48	46	99	47	52	138	68	51	46
75	53	E	1	86	44	49	76	37	51	80	44	45	44
76	44	E	0	62	19	70	74	21	71	86	26	69	70
77	46	K	0	87	39	55	109	45	59	114	46	59	56
78	68	E	1	93	49	57	97	37	61	141	56	60	60
79	40	E	0	83	34	59	68	27	60	111	43	61	63
80	61	K	1	119	84	30	152	106	30	165	117	29	34
81	44	E	0	60	21	66	74	24	67	90	30	67	68
82	54	E	0	84	31	63	95	33	65	122	45	63	65
83	35	E	0	85	35	58	87	32	63	112	47	58	62
84	45	K	0	68	31	55	80	34	57	93	35	62	62
85	47	E	0	100	42	58	107	40	63	128	47	63	64
86	41	E	0	86	38	56	112	48	57	145	59	59	58
87	43	E	0	79	33	58	93	37	60	121	50	58	62
88	66	E	1	105	46	56	129	53	59	158	66	58	61
89	48	K	0	55	20	64	83	27	67	88	28	69	68

Tablo 4.2. Devamı Çalışma grubunu oluşturan hastaların değerlendirme sonuçları



Şekil 4.1. 46 no'lu hastanın örnek değerlendirme sonucu

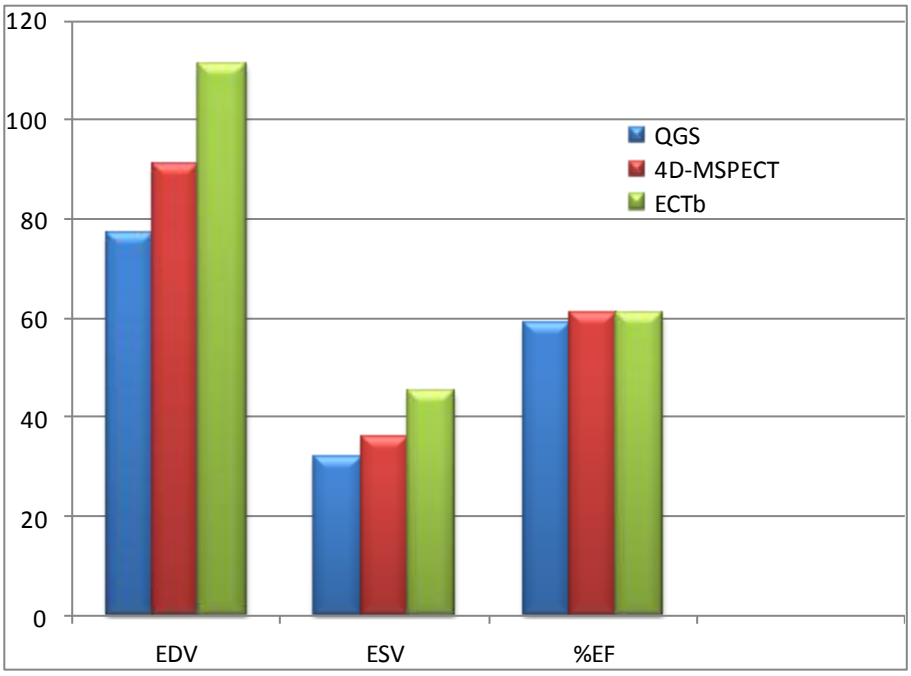


Şekil 4.2. 46 no'lu hastanın örnek değerlendirme sonucu

Gated SPECT görüntülemeden elde edilen ham veriler QGS, 4D-MSPECT ve ECTb programları ile analiz edildi. Elde edilen EDV, ESV ve SVEF değerlerinin ortalaması ve standart sapma değerleri Tablo 4.3.'de ve Şekil 4.3.'de gösterildi.

	QGS	4D-MSPECT	ECTb
EDV	77.43±19.96	91.84±26.43	111.48±31.32
ESV	32.86±15.47	36.83±19.46	45.26±24.59
%EF	59.06±8.81	61.30±8.86	61.33±9.72

Tablo 4.3. QGS, 4D-MSPECT, ECTb ile hesaplanan EDV, ESV ve %EF Değerleri



Şekil 4.3. QGS, 4D-MSPECT, ECTb ile hesaplanan EDV, ESV ve %EF değerleri

QGS, 4D-MSPECT ve ECTb programları kullanılarak EDV değerlerinin ortalaması sırası ile 77.43±19.96, 91.84±26.43, 111.48±31.32, ESV değerlerinin ortalaması sırası ile 32.86±15.47, 36.83±19.46, 45.26±24.59 bulundu.

Bu veriler doğrultusunda programlar arasında T testi ile yapılan ikili karşılaştırma sonuçları Tablo 4.4.'de verildi. Yapılan istatistiksel karşılaştırma, 4D-MSPECT ile hesaplanan ortalama EDV değerinin QGS ile hesaplanan ortalama değerden anlamlı derecede yüksek ($p<0.001$), ECTb ile hesaplanan ortalama değerden ise anlamlı derecede düşük olduğunu gösterdi ($p< 0.001$).

Diğer yandan 4D-MSPECT ve QGS ile hesaplanan ortalama ESV değerleri arasında anlamlı farklılık olmadığı ($p=0.191$) saptandı. Buna karşın ECTb ile hesaplanan ortalama ESV değerinin hem 4D-MSPECT ile hesaplanan değerden ($p<0.001$) hem de QGS ile hesaplanan değerden ($p<0.001$) anlamlı derecede yüksek olduğu tespit edildi.

SVEF değerleri ortalaması QGS ile 59.06±8.81, 4D-MSPECT ile 61.30±8.86, ECTb ile 61.33±9.72 ve ekokardiyografi ile 61.33±8.75 olarak bulundu (Tablo 4.3). Buna göre QGS ile hesaplanan SVEF değerinin diğer programlarla hesaplanan değerlere göre bir miktar düşük olduğu tespit edilmiş olsa da hem 4D-MSPECT ile ($p=0.10$) hem de ECTb ile ($p=0.109$) aralarında anlamlı derecede korelasyon olduğu saptandı. Her bir programın SVEF değeri ortalaması ekokardiyografi ile hesaplanan SVEF değeri ile karşılaştırıldı ve aralarında anlamlı derecede korelasyon bulundu (Tablo 4.4).

Pearson korelasyon testi ile korelasyon katsayıları EDV için >0.8, ESV ve SVEF için >0.9 olarak hesaplandı (Tablo 4.5., Tablo 4.6., Tablo 4.7.).

Lineer regresyon analizi, programlardan ve ekokardiyografiden elde edilen SVEF değerlerinin doğrusal olarak orantılı olduğunu gösterdi (Şekil 4.3.- Şekil 4.8.).

	Yöntem	Ortalama Fark	P Değeri
EDV	QGS-4DM	-14.40	<0.001
	QGS-ECTb	-34.04	<0.001
	4DM-ECTb	-19.64	<0.001
ESV	QGS-4DM	-3.96	0.191
	QGS-ECTb	-12.40	<0.001
	4DM-ECTb	-8.43	<0.001
%EF	QGS-4DM	-2.23	0.10
	QGS-ECTb	-2.17	0.109
	4DM-ECTb	-0.56	0.967
	QGS-Eko	-2.26	0.095
	4DM-Eko	-0.033	0.980
	ECTb-Eko	-0.08	0.947

Tablo 4.4. QGS, 4D-MSPECT, ECTb ve Eko ile hesaplanan EDV, ESV ve %EF değerlerinin karşılaştırma sonuçları

	QGS	4DM	ECTb
QGS	1	0,835	0,877
4DM	0,835	1	0,858
ECTb	0,877	0,858	1

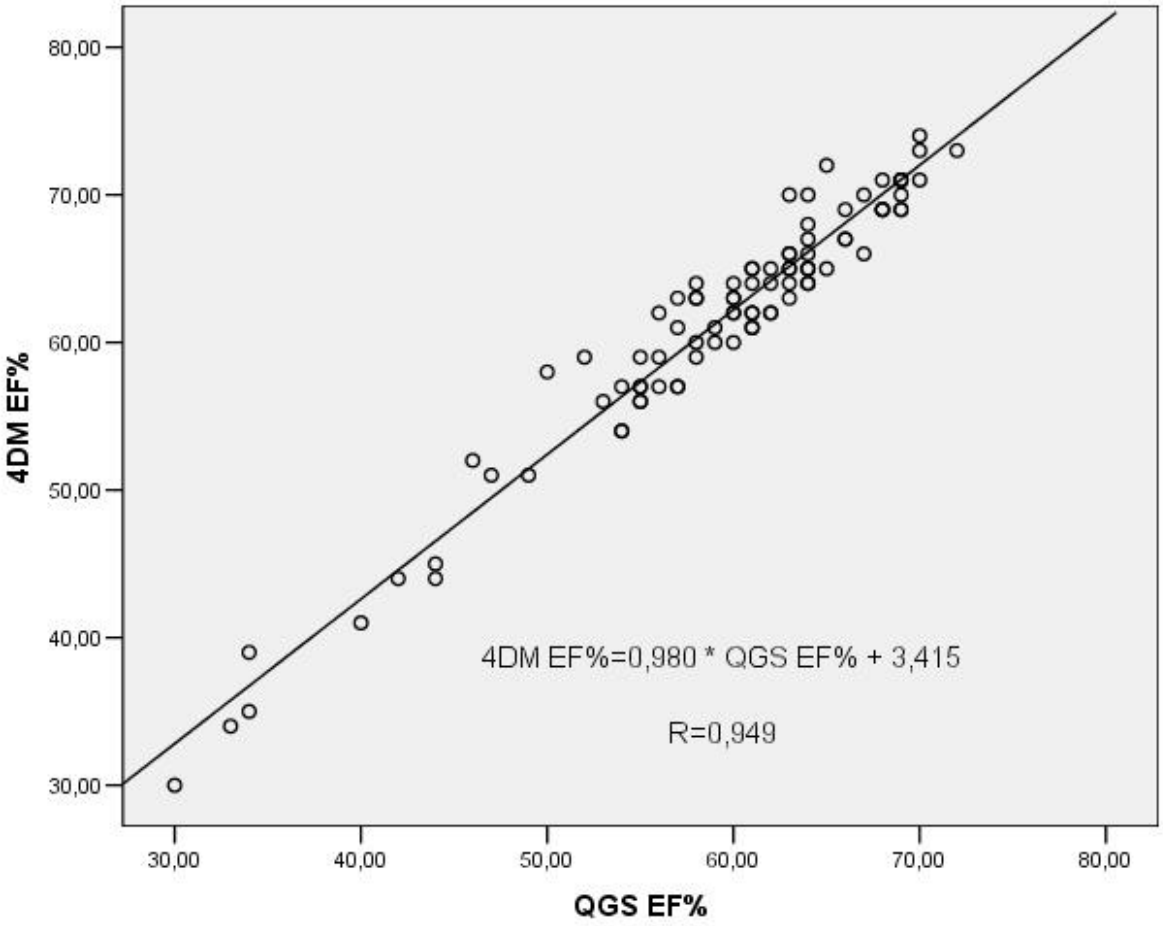
Tablo 4.5. EDV değeri için oluşturulan korelasyon matriksi

	QGS	4DM	ECTb
QGS	1	0,940	0,948
4DM	0,940	1	0,954
ECTb	0,948	0,954	1

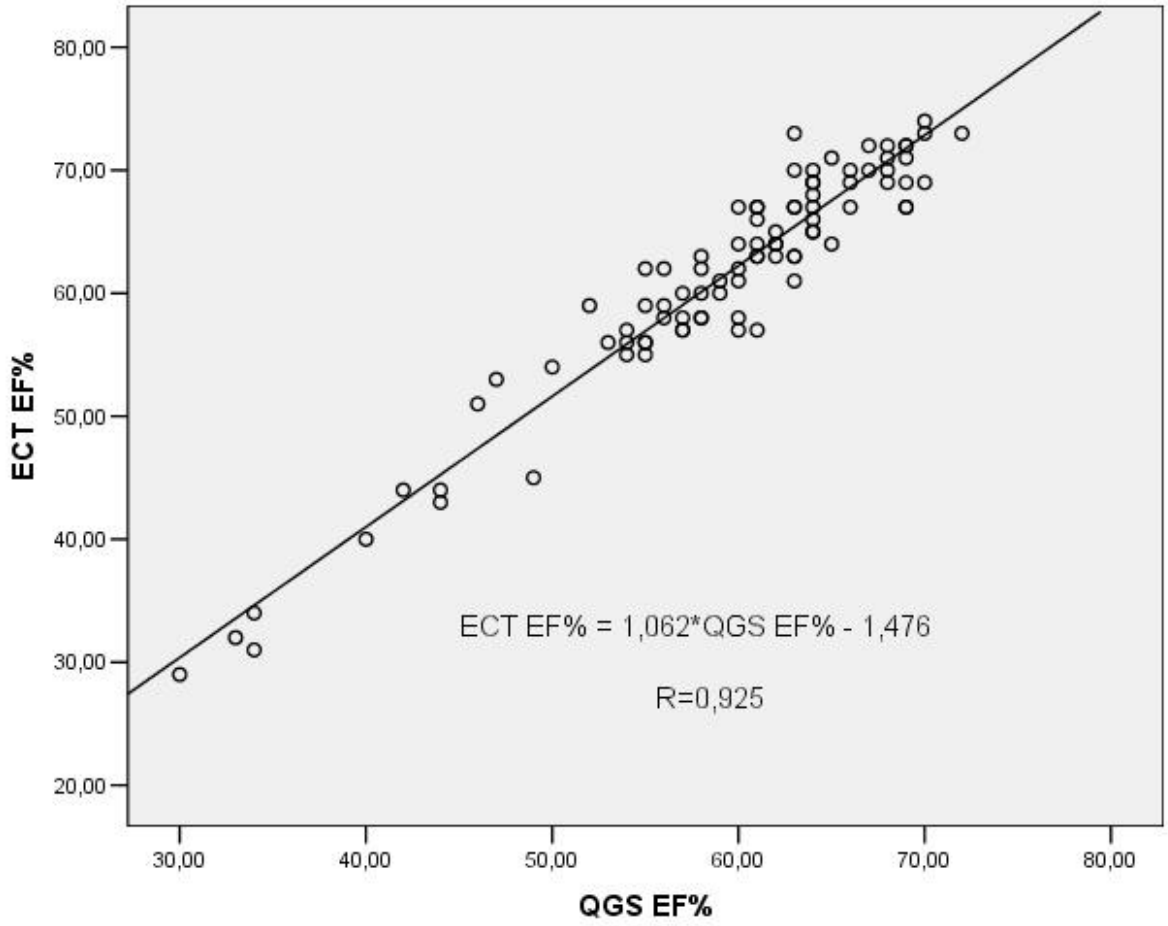
Tablo 4.6. ESV değeri için oluşturulan korelasyon matriksi

	QGS	4DM	ECTb	EKO
QGS	1	0,974	0,962	0,947
4DM	0,974	1	0,966	0,953
ECTb	0,962	0,966	1	0,954
EKO	0,947	0,953	0,954	1

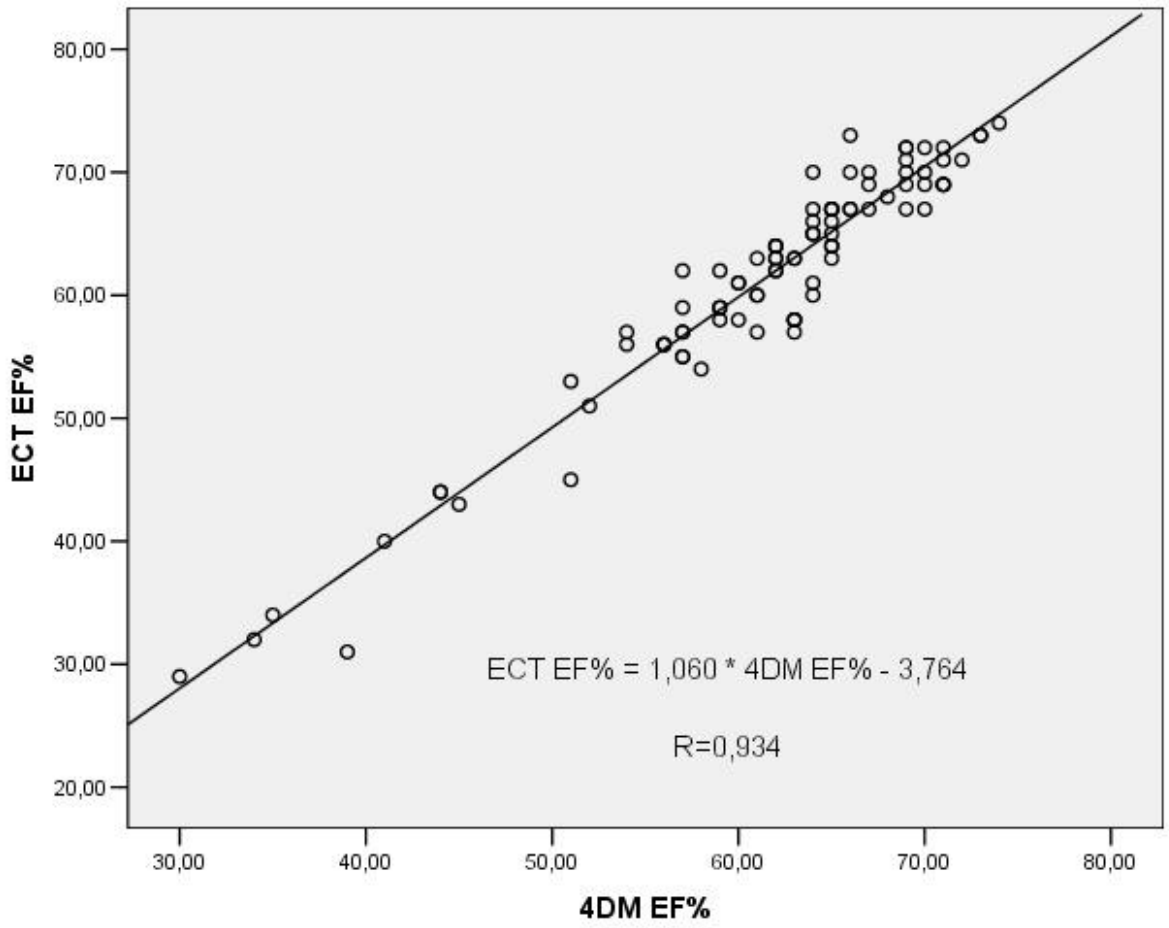
Tablo 4.7. %EF değeri için oluşturulan korelasyon matriksi



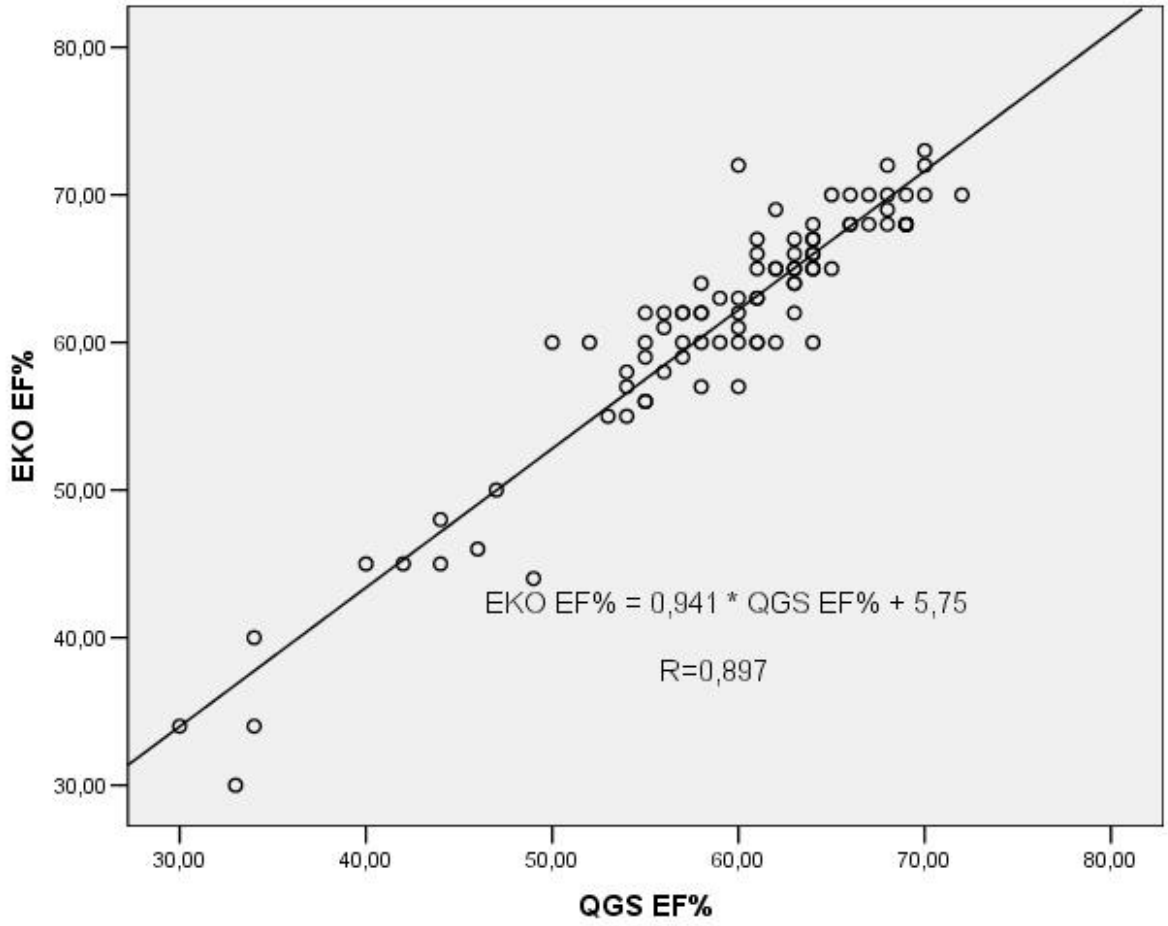
Şekil 4.3. QGS ve 4D-MSPECT %EF değerlerinin lineer regresyon analizi



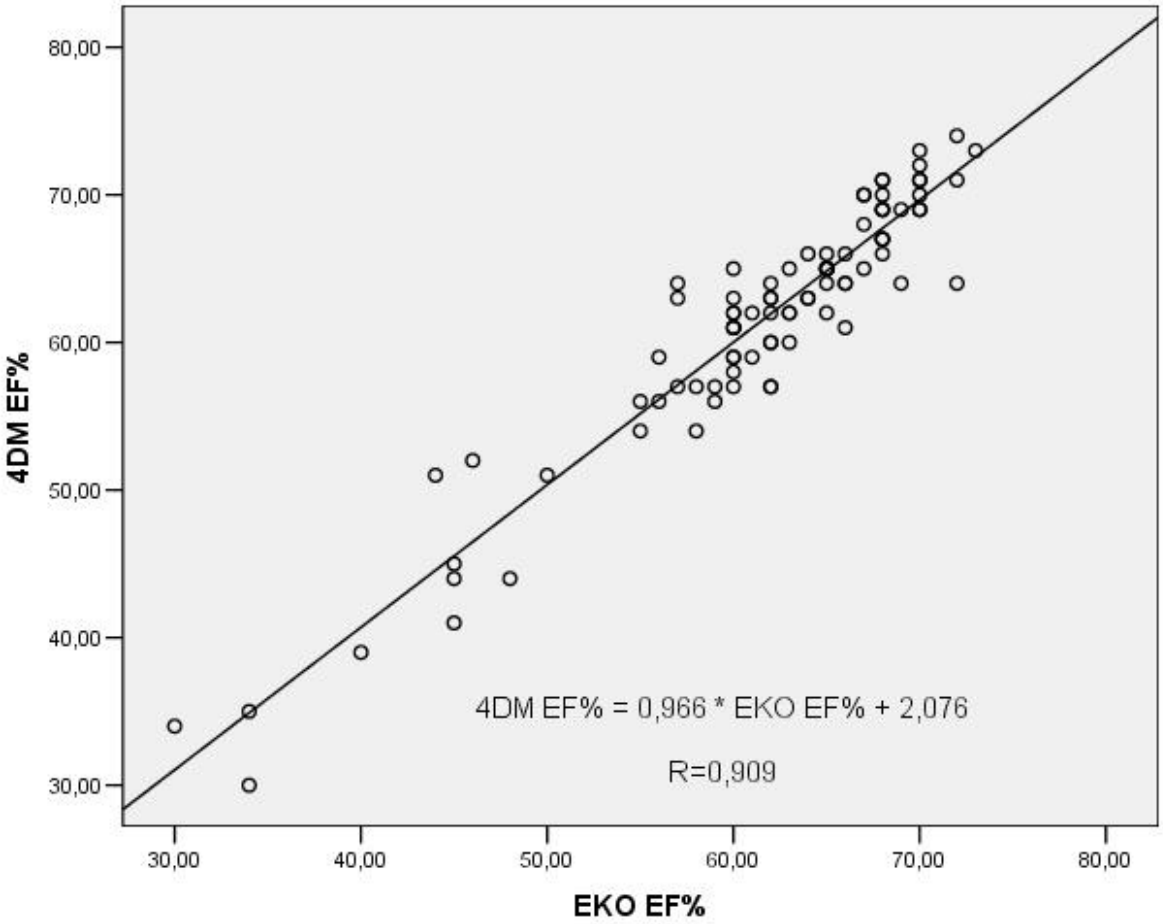
Şekil 4.4. ECTb ve QGS %EF değerlerinin lineer regresyon analizi



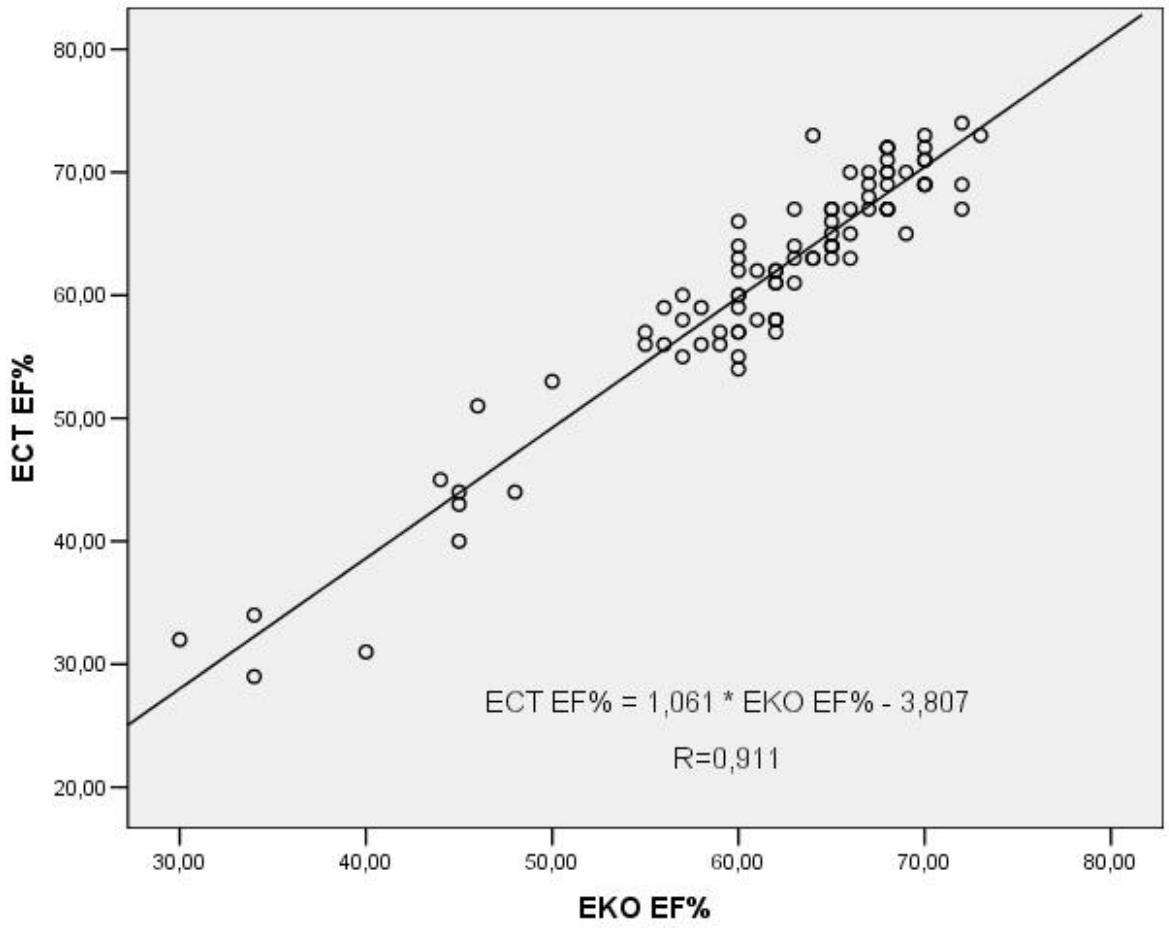
Şekil 4.5. ECTb ve 4D-MSPECT %EF değerlerinin lineer regresyon analizi



Şekil 4.6. EKO ve QGS %EF değerlerinin lineer regresyon analizi



Şekil 4.7. 4D-MSPECT ve EKO %EF değerlerinin lineer regresyon analizi



Şekil 4.8. ECTb ve EKO %EF değerlerinin lineer regresyon analizi

Bu genel hasta grubu incelemesinden sonra hastalar iki gruba ayrıldı. Grup 1 perfüzyon defekti olmayan (n=60) ve grup 2 perfüzyon defekti olan (n=29) hastalardan oluşturuldu. Her iki grup için ayrı ayrı hesaplanan EDV, ESV ve SVEF değerleri ortalaması, standart sapma ve p değerleri Tablo 4.8.'de verildi. Her üç program ile elde edilen EDV ve ESV değerlerinin grup 2'de grup 1'e oranla anlamlı derecede yüksek olduğu saptandı. SVEF değerlerinin grup 2'de grup 1'e göre belirgin olarak düşük olduğu tespit edildi.

		GRUP	ORTALAMA	STANDART SAPMA	P DEĞERİ
QGS	EDV	2	90.4138	20.63720	0,0002
		1	71.1667	16.41534	
	ESV	2	46.0000	18.51640	0,0005
		1	26.5167	8.28209	
	%EF	2	50.8276	9.75071	0,00004
		1	63.0500	4.60444	
4D-MSPECT	EDV	2	105.5517	32.27071	0,00001
		1	85.2167	20.27029	
	ESV	2	51.1034	26.11287	0,0004
		1	29.9333	9.65308	
	%EF	2	53.5517	10.24551	0,0005
		1	65.0500	4.86226	
ECTb	EDV	2	129.4483	36.61731	0,0005
		1	102.8000	24.32673	
	ESV	2	64.7931	31.54971	0,0003
		1	35.8333	12.34005	
	%EF	2	51.7931	10.50639	0,00004
		1	65.8167	4.86249	
EKO	%EF	2	52.9655	9.82156	0,0004
		1	65.3833	4.17455	

Tablo 4.8. Grup 1 ve Grup 2 için QGS, 4D-MSPECT, ECTb ve Eko ile hesaplanan EDV, ESV ve %EF değerlerinin ortalaması ve standart sapma değerleri

	GRUP	KARŞILAŞTIRMA	ORTALAMALAR ARASINDAKİ FARK	STANDART SAPMA	P DEĞERİ
EDV	1	QGS -4DM	-15,13	27,91	0,15
		QGS-ECTb	-39,03	35,43	0,0004
		4DM-ECTb	-23,89	36,26	0,011
ESV	1	QGS -4DM	-5,12	22,58	0,456
		QGS-ECTb	-18,79	27,54	0,007
		4DM-ECTb	-13,68	29,52	0,048
%EF	1	QGS -4DM	-2,72	10,07	0,306
		QGS-ECTb	-0,96	10,05	0,716
		4DM-ECTb	1,75	10,32	0,508
		QGS-EKO	-2,13	9,75	0,421
		4DM-EKO	0,58	9,95	0,825
		ECTb-EKO	-1,17	10,09	0,659
EDV	2	QGS -4DM	-14,05	19,67	0,0005
		QGS-ECTb	-31,63	26,06	0,0004
		4DM-ECTb	-17,58	23,98	0,0003
ESV	2	QGS -4DM	-3,14	9,11	0,69
		QGS-ECTb	-0,93	11,46	0,0004
		4DM-ECTb	-5,90	11,42	0,002
%EF	2	QGS -4DM	-2,00	4,82	0,19
		QGS-ECTb	-2,76	4,91	0,001
		4DM-ECTb	-0,76	4,85	0,366
		QGS-EKO	-2,33	4,53	0,006
		4DM-EKO	-0,33	4,51	0,694
		ECTT-EKO	0,433	4,51	0,609

Tablo 4.9. Grup 1 ve Grup 2 için QGS, 4D-MSPECT, ECTb ve Eko ile hesaplanan EDV, ESV ve %EF değerlerinin ANOVA ile yapılan karşılaştırma sonuçları

5. TARTIŞMA

Koroner arter hastalıklarının tanısında ve prognozun belirlenmesinde sol ventrikül volümleri ve SVEF hesaplamalarının prognostik değeri bilinmektedir (42,43). Bu parametrelerin hesaplanmasında invaziv ve noninvaziv birçok yöntem kullanılmaktadır. Ekokardiyografi, kardiyak bilgisayarlı tomografi, kardiyak manyetik rezonans görüntüleme ve miyokard perfüzyon gated SPECT noninvaziv yöntemleri oluşturmaktadır. Literatürde bu yöntemlerden elde edilen verileri karşılaştıran birçok çalışma mevcuttur (44-47). Hangi yöntemin seçileceği ulaşılabilirliğine, maliyetine ve hasta hakkında edinilmek istenilen bilgiye göre belirlenir.

Miyokard perfüzyonu hakkında bilgi edinilememesi, hesaplanan volüm değerleri ve SVEF'nin görüntülemeyi yapan kişiye bağımlı olması, ileri derecede sol ventrikül disfonksiyonunda tanısal değerinin azalması ekokardiyografinin limitasyonları arasında yer almaktadır. Buna rağmen ekokardiyografi non-invaziv, kolay ulaşılabilir ve hasta hazırlığı gerektirmeyen bir inceleme olması nedeniyle klinikte sol ventrikül fonksiyonlarının incelenmesinde en sık kullanılan yöntemdir. Bu nedenle, gated SPECT ile elde edilen fonksiyonel verilerin klinik uygulamadaki yerinin araştırıldığı birçok çalışmada ekokardiyografik veriler ile karşılaştırma kullanılmıştır (48-52).

Choragudi ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, MPS ve 2-D ekokardiyografi ile elde edilen sol ventrikül volümleri ve SVEF değerleri arasındaki korelasyonun iyi olduğunu göstermişlerdir (48). Singh ve arkadaşlarının yaptığı diğer bir çalışmada da, sol ventrikül volümleri ve SVEF değerleri bakımından MPS ve ekokardiyografi sonuçları arasındaki korelasyonun iyi olduğu ortaya konmuştur (50). Biz de çalışmamızda ki amacımız gated SPECT'in sensitivite ve spesifitesini tespit etmek değil; programların klinik uygulamada ki yerini araştırmak olduğundan, elde ettiğimiz verileri altın standart olarak kabul edilen radyonüklid anjiografi ya da kardiyak manyetik rezonans gibi yöntemlerle karşılaştırmak yerine, sol ventrikülün fonksiyonel parametrelerinin belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem olan ekokardiyografi ile karşılaştırmayı uygun bulduk.

Çalışmamızda kullandığımız nükleer görüntüleme yöntemi olan miyokard perfüzyon gated SPECT, hem perfüzyonun hem de global ve bölgesel sol ventrikül fonksiyonlarının aynı anda değerlendirilmesini sağlayan bir görüntüleme yöntemi

olduğu için günümüzde klinik kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Bölgesel duvar hareketlerinin ve duvar kalınlığının görsel olarak değerlendirilmesinin yanında EDV, ESV ve SVEF gibi kantitatif parametrelerin de hesaplanabilmesi MPS ile mümkün olmaktadır. Gated SPECT ile elde edilen kardiyak hemodinamik parametrelerin, bu parametrelerin ölçümünde altın standart olarak kabul edilen radyonüklid anjiografi ile karşılaştırmasının yapıldığı çalışmalarda gated SPECT sonuçlarının SVEF ölçümünde güvenilir olduğu ortaya konmuştur (53-55).

Gated SPECT'in diğer bir avantajı da miyokard perfüzyon SPECT çalışmasında oluşan meme ve diafragma atenüasyonlarının ayırt edilebilmesini sağlamasıdır. Sharir ve arkadaşları, miyokard perfüzyon SPECT ile tek başına perfüzyonun değerlendirilmesinin KAH prognozu hakkında değerli bilgiler vermesine rağmen, stres gated SPECT çalışmasında perfüzyonla birlikte elde edilen kantitatif değerlerin, kardiyak ölümü öngörmede oldukça önemli göstergeler olduğunu ortaya koymuşlardır (56).

Gated SPECT yöntemi ile hesaplanan SVEF değerinin klinik uygulamada hangi faktörlerden etkilendiğini bilmek önemlidir. Bu faktörlerden biri gated çekiminde kardiyak siklusun bölüneceği çerçeve sayısıdır. Navare ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, her kardiyak siklusun 8 ve 16 çerçeveye bölünmesi ile alınan görüntülerden elde edilen EDV, ESV ve SVEF değerleri arasında anlamlı fark bulunmasına karşın; Germano ve arkadaşlarının 65 hasta üzerinde ve radyonüklid ventrikülografi ile karşılaştırmalı olarak yaptığı çalışmada, 8 ve 16 çerçevelik gated görüntülerinden elde edilen SVEF değerleri arasındaki uyumun mükemmel olduğu bulunmuştur(8,57). Montelatici ve arkadaşları da 2008 yılında yaptıkları bir çalışmada Germano ve arkadaşları ile benzer biçimde 8 ve 16 çerçevelik gated görüntülerinden elde edilen fonksiyonel parametreler arasında anlamlı bir fark bulmamıştır (58).

SVEF ölçümünü etkilediği düşünülen diğer bir faktör de geniş perfüzyon defektleridir. Perfüzyon defekti boyutunun özellikle %25'ten büyük olduğu durumlarda endokardiyal sınırlar doğru tanımlanamayacağı için SVEF ölçümünün etkileneceği öngörülmüştür. Manrique ve arkadaşlarının miyokard enfarktüsü geçirmiş hastalarda radyonüklid anjiografi ile karşılaştırmalı olarak yaptığı çalışmada, geniş perfüzyon defekti ve sol ventrikül disfonksiyonu varlığında gated SPECT ile hesaplanan SVEF

değerinin, radyonüklid anjiografiye oranla daha düşük değerlerde olduğunu ortaya koymuştur (59). Buna karşın Harisankar ve arkadaşlarının, sol ventrikül alanının %25'inden büyük perfüzyon defektine sahip hastalarda yaptığı çalışmada, gated SPECT SVEF değerlerinin radyonüklid ventrikülografi ile yüksek oranda korele olduğunu göstermiştir (60).

Gated SPECT ile miyokard perfüzyonunun değerlendirilmesi ve fonksiyonel kantitatif parametrelerin elde edilmesi için QGS, 4D-MSPECT ve ECTb gibi ticari yazılım programları kullanılmaktadır (39-41). Bu programlar ile hem miyokard perfüzyonu hem de sol ventrikül fonksiyonları, tam otomatik işlemler sonucunda kantitatif veriler üzerinden değerlendirilebilir. Otomatik işlemleme sürecinin kullanılmasının programın tekrar edilebilirliğini arttırdığı bilinmektedir. Dostbil ve arkadaşlarının programlarının tekrarlanabilirliklerini değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada (aynı ham verilerin her programda ve farklı zamanlarda iki kez tekrar edilerek işlemlenmesi yöntemini ile), algoritmaların tekrar edilebilir olduklarını göstermişlerdir (61). Ancak yine de programın otomatik olarak ventrikül sınırlarını ve merkezini belirlemede başarısız olduğu durumlarda manuel olarak aksın belirlenmesi de mümkündür.

Her programın ventrikül örneklemi, matematiksel hesaplama yöntemi ve normal popülasyon limitleri farklılık göstermektedir. Ventrikül modellemesinde QGS eliptik örneklemi kullanırken, 4DM-SPECT ve ECTb silindirik-küresel örneklemi kullanmaktadır. ECTb kapak düzlemi tanımlamasını iki kesit üzerinden yaparken, 4D-MSPECT ve QGS tek düzlem kullanmaktadır. Bu farklılıklar nedeniyle kullanılan yazılım programına göre SVEF değerinin değişkenlik gösterebileceği düşünülmüştür. Literatürde, yaptığımız çalışmada kullandığımız program ve parametreler ile benzerlik taşıyan birkaç çalışma mevcuttur.

Lum ve arkadaşlarının KAH öyküsü olduğu bilinen 200 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada QGS, 4D-MSPECT ve ECTb programları ile elde edilen EDV ve SVEF değerleri kullanılmıştır (62). Çalışmaya ESV değerleri dahil edilmemiş ve programlar yalnızca kendi aralarında karşılaştırılmıştır. QGS ile hesaplanan EDV değerinin hem 4D-MSPECT hem de ECTb ile hesaplanan EDV değerinden küçük olduğu, ancak 4D-MSPECT ile ECTb sonuçları arasında belirgin farklılık olmadığı saptanmıştır. SVEF

değerleri karşılaştırıldığında EDV değerlerinde olduğu gibi QGS ile hesaplanan SVEF değerinin diğer iki programdan düşük değerlerde olduğu ve 4D-MSPECT ile ECTb arasında belirgin farklılık saptanmadığı gösterilmiştir. Hastaların küçük kalp boyutu olan, perfüzyon defekti olmayan ve perfüzyon defekti saptanan olarak üç gruba ayrıldığı çalışmada hem EDV hem de SVEF değerleri için korelasyon katsayıları 0.9'dan büyük bulunmuştur. Perfüzyon defekti olan ve olmayan hastalardan oluşturulan iki grup arasında programların ortalama farkları (mean difference) arasında anlamlı değişkenlik tespit edilmemiştir.

KAH tanısı almış 30 hasta üzerinde Nakajima ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 4 farklı gated SPECT yazılım programından (QGS, 4D-MSPECT, ECTb, PFAST) elde edilen EDV ve SVEF değerleri gated blood pool görüntüleme ile kıyaslanarak incelenmiştir (63). Elde edilen EDV değerleri incelendiğinde, Lum ve arkadaşlarının elde ettikleri sonuçlara benzer biçimde, QGS ile elde edilen EDV değerinin 4D-MSPECT ve ECTb ile elde edilen değerden daha düşük olduğu ancak 4D-MSPECT ve ECTb arasında belirgin farklılık bulunmadığı saptanmıştır. SVEF değerleri incelendiğinde 4D-MSPECT ve QGS arasında belirgin farklılık bulunmadığı ancak her iki programın da ECTb'den daha düşük SVEF değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Programların kendi aralarındaki karşılaştırmada korelasyon katsayıları EDV için 0.89-0.98 aralığında, SVEF için ise 0.80-0.95 aralığında bulunmuştur. Hastalar daha sonra perfüzyon defekti olmayan, küçük perfüzyon defekti olan, geniş perfüzyon defekti olan ve küçük kalp (EDV<60 mL) olmak üzere 4 gruba ayrılarak yeniden değerlendirilmiştir. Defekt boyutu büyüdükçe SVEF'nin azaldığı ancak programların gated blood pool yöntemi ile korelasyonunun her dört grupta da belirgin oranda değişmediği saptanmıştır.

Schaefer ve arkadaşları EDV, ESV ve SVEF parametrelerini kullanarak yaptığı çalışmada, ECTb, QGS ve 4D-MSPECT'in hem programlar arası farklılıklarını hem de kardiyak manyetik rezonans ile karşılaştırmasını yaparak programların doğruluğunu araştırmışlardır (64). Şüpheli ya da bilinen KAH olan 70 hastanın dahil edildiği çalışmada 4D-MSPECT ve ECTb ile elde edilen EDV değerleri arasında belirgin farklılık bulunmadığı ancak QGS'in her iki programdan da daha düşük EDV değerlerine sahip olduğu saptanmıştır. QGS ile elde edilen ESV'nin her iki programdan da daha yüksek değerlerde olduğu, 4D-MSPECT ve ECTb'nin arasında belirgin farklılık

bulunmadığı tespit edilmiştir. SVEF değerleri karşılaştırmasında ise, 4D-MSPECT ile elde edilen SVEF değerinin QGS ile elde edilen değerden belirgin yüksek, ECTb ile elde edilen değerden belirgin düşük olduğu gösterilmiştir. Çalışmada perfüzyon defekti varlığı parametre olarak kullanılmamıştır.

Literatürdeki bir diğer çalışma Kakhki ve arkadaşlarının perfüzyon defekti olan ve olmayan hastalarda ECTb ve QGS verilerini karşılaştırdığı çalışmadır. Çalışmada perfüzyon defekti olmayan hastalarda ECTb ile elde edilen EDV ve SVEF değerlerinin QGS'den yüksek değerlerde olduğu, ancak ESV değerlerinin belirgin farklılık göstermediği ortaya konmuştur. Perfüzyon defekti olan hasta grubunda ise, ECTb ile elde edilen EDV, ESV ve SVEF değerlerinin tümünün QGS'den yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca perfüzyon defekti olan hastalarda, iki programın EDV ve ESV ortalamaları farkının, perfüzyon defekti olmayan hasta grubundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. SVEF değeri bakımından iki grup arasında belirgin bir farklılık saptanmamıştır. Daha ileri aşamada hastaların perfüzyon defektleri kantitatif olarak değerlendirilmek suretiyle (summed rest score) hastalar perfüzyon defekti boyutuna göre üç gruba ayrılmış ve SVEF değerleri yeniden incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda perfüzyon defekti boyutu arttıkça iki program arasındaki SVEF değeri ortalamaları farkının arttığı gösterilmiştir.

Çalışmamızda günümüzde en sık kullanılan farklı yazılım programlarından elde edilen sol ventrikül volümleri ve SVEF değerlerini perfüzyon defekti varlığında ve yokluğunda hesaplayarak; ayrıca literatürdeki çalışmalardan farklı olarak elde edilen verileri ekokardiyografi sonuçları ile karşılaştırmak suretiyle program karakteristiklerini ve programların rutinde kullanılabilirliklerini inceledik.

Öncelikle EDV, ESV ve SVEF için korelasyon katsayılarını hesapladık. SVEF için korelasyon katsayıları Lum ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile uyumlu olarak 0.9'dan büyüktü. ESV için de 0.9'dan büyük olarak hesapladığımız korelasyon katsayılarının Schaefer ve arkadaşlarının bulgularıyla uyumlu olduğunu gördük. Ancak EDV için hesapladığımız korelasyon katsayıları literatürden farklı olarak 0.83-0.87 aralığındaydı.

Hasta grubunun toplamını içeren değerlendirmede, QGS ile elde edilen ortalama EDV değerinin, hem Nakajima ve arkadaşları hem de Lum ve arkadaşlarının

bulgularıyla paralel olarak 4D-MSPECT ve ECTb ile elde edilen değerden daha düşük olduğunu saptadık. Ayrıca bu çalışmalardan farklı olarak ECTb ile elde edilen EDV değerinin 4D-MSPECT ile elde edilen değerden daha yüksek olduğunu tespit ettik.

Literatürde ESV'nin karşılaştırma parametresi olarak kullanıldığı az sayıda çalışmalardan biri olan Hovland ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, ECTb ile hesaplanan ESV'nin 4D-MSPECT ile hesaplanan değerden daha yüksek olduğunu, ECTb ve 4D-MSPECT'in ise QGS ile hesaplanan ESV'den daha düşük değerde olduğunu tespit etmişlerdir (66). Bu farklılıklara karşın üç programın ESV değerlerinin istatistiksel olarak iyi korelasyon gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmamızda Hovland ve arkadaşlarının çalışması ile uyumlu olarak ECTb ile hesaplanan ESV'nin 4D-MSPECT ile hesaplanan ESV değerinden daha yüksek olduğunu saptadık. Ancak bu çalışmadan farklı olarak çalışmamızda, QGS ile elde edilen ESV'nin 4D-MSPECT ile elde edilen değerden bir miktar daha düşük olduğunu fakat istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını tespit ettik ($p=0.191$).

SVEF değerlendirmesinde, hem Lum ve arkadaşlarının hem de Nakajima ve arkadaşlarının çalışmaları ile uyumlu olarak ECTb ile 4D-MSPECT arasında anlamlı bir farklılık tespit etmedik ancak QGS ile elde edilen SVEF diğer programlardan daha düşük değerdeydi. Buna karşın hem yazılım programlarının kendi aralarındaki korelasyonun hem de her bir programın ekokardiyografi ile olan korelasyonunun oldukça iyi olduğunu saptadık.

SVEF değerlerinin karşılaştırmasında kullandığımız regresyon analizinde, programların kendi aralarındaki karşılaştırmada regresyon çizgileri benzer bulunmuştur. Her program çifti için hesapladığımız regresyon çizgisi eğimleri Lum ve arkadaşlarının çalışmalarında elde ettiğinden daha yüksek değerlerdedir. Bu da programlar arasında tespit ettiğimiz korelasyonun Lum ve arkadaşlarına göre bir miktar daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda bu incelemelerin ardından, perfüzyon defektinin sol ventrikül volümlerine ve SVEF'ye etkisini görebilmek için iki gruba (perfüzyon defekti olan ve olmayan) ayırdığımız hastaların fonksiyonel parametrelerini yeniden inceledik. Nakajima ve arkadaşlarının çalışması ile uyumlu olarak perfüzyon defekti olan hasta grubunda her program ile elde edilen ortalama EDV ve ESV'nin perfüzyon defekti

olmayan hasta grubuna göre daha yüksek olduğunu tespit ettik. SVEF için ise, perfüzyon defekti olan hasta grubundan elde edilen SVEF ortalamaları perfüzyon defekti olmayan hastalara göre hem QGS, ECTb ve 4D-MSPECT programlarında hem de ekokardiyografide daha düşük değerlerdeydi. Bu bulgunun daha önceden yaptıkları çalışmalarda Khalil ve arkadaşları ile Vera ve arkadaşlarının saptadığı üzere, perfüzyonu düşük (iskemik ya da nekrotik) alanlarda gated SPECT'in endokardiyal sınırları belirlemede yetersiz kalması ile ilişkili olabileceğini düşündük (67,68). Lapeyre ve arkadaşları, miyokard enfarktüsü geçirmiş hastalarda yaptıkları çalışmada hem gated SPECT hem de ekokardiyografi ile hesaplanan bölgesel SVEF ile o bölgenin perfüzyonu arasında anlamlı korelasyon tespit ettiler (69). Elde edilen bu sonuç da bizim çalışmamızda tespit ettiğimiz perfüzyon defekti olan hastalarda ki SVEF düşüklüğünü açıklamaktadır.

Diğer yandan iskemi sonrası miyokard dokusunda meydana gelen stunning'in de global ventrikül fonksiyonunu etkilediğinden EDV, ESV ve SVEF değerlerinde böyle farklılıklara yol açabileceği bilinmektedir. Çalışmamızda perfüzyon defekti olan hasta grubunda miyokard enfarktüsü geçirmiş ya da KAH nedeniyle ventrikül fonksiyonları bozulmuş hastalar olduğundan bu faktörü araştırdık. Ancak konu ile ilişkili literatürde yer alan çalışmalarda belirtildiği gibi stunning ya da ciddi iskemi nedeniyle bozulan ventrikül fonksiyonları, istirahat SVEF'sinden çok egzersiz SVEF'sini etkilemektedir /70-72). Biz ise çalışmamızda yaptığımız karşılaştırmalarda yalnızca istirahat SVEF değerini kullandık.

Daha ileri aşamada program çiftlerinin ve ekokardiyografinin SVEF ortalamaları arasındaki farkı hesaplayarak iki gruptan elde edilen değerleri karşılaştırdık. Bu karşılaştırma sonucunda 4D-MSPECT ve ECTb ile ekokardiyografi arasında perfüzyon defekti varlığında ve yokluğunda belirgin farklılık olmamasına karşın; Khalil ve arkadaşlarının da çalışmalarında saptadığı gibi, QGS ile perfüzyon defekti varlığında ekokardiyografiye göre daha düşük değerler elde edildiğini gördük (perfüzyon defekti olmayan grupta p:0.42, perfüzyon defekti olan grupta p:0.006).

SONUÇ

KAH varlığı ya da şüphesi ile 2006–2009 yılları arasında gated miyokard perfüzyon SPECT tek gün protokolü ile değerlendirilmiş olan hastaların sol ventrikül fonksiyonel parametrelerinin üç farklı algoritma (QGS, 4D-MSPECT, ECTb) ile hesaplanarak sonuçların birbirleri ile, ayrıca sol ventrikül ejeksiyon fraksiyonu (EF) değerlerinin klinikte SVEF hesaplamasında en yaygın yöntem olarak kullanılan transtorasik 2D ekokardiyografi ile karşılaştırılması sonucunda; hem ekokardiyografi ile hem de programların kendi aralarında SVEF değerleri bakımından anlamlı derecede korelasyon saptandı.

Sonuç olarak, gated miyokard perfüzyon SPECT görüntülemenin, klinik uygulamada SVEF değerlendirmesinde kullanılabilecek invaziv olmayan, kolay uygulanabilir ve güvenilir bir tanı yöntemi olduğu ve klinik uygulamada tek bir yazılım programıyla değerlendirilmek kaydı ile hastaların takibinde kullanılabileceği kanaatindeyiz.

KAYNAKLAR

1. Okudan B. F., Özbek M. Günümüzden geleceğe nükleer kardiyoloji. S.D.Ü. Tıp Fak. Derg. 2005: 12(3)/ 57-61.

2. Muhlbaier L.H., Pryor D.B., Rankin J.S. et al. Observational comparison of event-free survival with medical and surgical therapy in patients with coronary artery disease: 20 years of follow-up. Circulation 1992; 86(Suppl II): 198–204.

3. Emond M., Mock M.B., Davis K.B. et al. Long-term survival of medically treated patients in the Coronary Artery Surgery Study (CASS) Registry. Circulation 1994; 90: 2645–2657.

4. Germano G., Erel J., Lewin H. Et al. Automatic quantitation of regional myocardial wall motion and thickening from gated technetium-99m sestamibi myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. J Am Coll Cardiol 1997; 30: 1360-1367.

5. Mochizuki T., Murase K., Tanaka H. Et al. Assessment of left ventricular volume using ECG-gated SPECT with technetium-99m-MIBI and technetium-99m-tetrofosmin. J Nucl Med 1997; 38(1): 53-57.

6. Yoshioka J., Hasegawa S., Yamaguchi H. Et al. Left ventricular volumes and ejection fraction calculated from quantitative electrocardiographic-gated 99mTc-tetrofosmin myocardial SPECT. J Nucl Med 1999; 40(10): 1693-1698.

7. Dostbil Z., Arıtürk Z., Cil H. Et al. Comparison of left ventricular functional parameters obtained from three different commercial automated software cardiac quantification program packages and their intraobserver reproducibility. Ann Nucl Med 2011; 25(2): 125-131.

8. Germano G., Kiat H., Kavanagh P.B. et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. J Nucl Med 1995; 36(11): 2138-2147.

9. Faber T..L, Cooke C.D., Folks R.D. et al. Left ventricular function and perfusion from gated SPECT perfusion images: an integrated method. J Nucl Med 1999; 40(4): 650-659.

10. Ficaro E.P., Lee B.C., Kritzman J.N. et al. Corridor4DM: the Michigan method for quantitative nuclear cardiology. J Nucl Cardiol 2007; 14(4): 455-465.

11. Yıldırım M. İnsan Anatomisi. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti., 2004: 40-56.

12. Guyton A.C., Hall J.E. Koroner Dolaşım ve İskemik Kalp Hastalığı. Çev: Solakoğlu Z., Tıbbi Fizyoloji, Bölüm 21, W. B. Saunders., 1996: 253-265.

13. Yamada S., Ishii H., Takahashi H. Et al. Prognostic value of reduced left ventricular ejection fraction at start of hemodialysis therapy on cardiovascular and all-cause mortality in end-stage renal disease patients. Clin J Am Soc Nephrol 2010; 5(10): 1793-1798.

14. Starling M.R., Crawford M.H., Henry R.L. et al. Prognostic value of electrocardiographic exercise testing and noninvasive assessment of left ventricular ejection fraction soon after acute myocardial infarction. Am J Cardiol 1986; 57(8): 532-537.

15. Carerj S., La Carrubba S., Antonini-Canterin F. Et al. The incremental prognostic value of echocardiography in asymptomatic stage a heart failure. J Am Soc Echocardiogr 2010; 23(10): 1025-1034.

16. Nesser H.J., Tkalec W., Patel A.R. et al. Quantitation of right ventricular volumes and ejection fraction by three-dimensional echocardiography in patients: comparison with magnetic resonance imaging and radionuclide ventriculography. Echocardiography 2006; 23(8): 666-680.

17. Li X.C., Yan C.J., Yao G.H. et al. Value of left ventricular regional ejection fraction determined by real-time three-dimensional echocardiography in diagnosis of aneurysm: compared with left ventriculography. Chin Med J (Engl) 2009; 122(24): 2981-2984.

18. Vignola P.A., Bloch A., Kaplan A.D. et al. Interobserver variability in echocardiography. J Clin Ultrasound 1977; 5(4): 238-242.

19. Galema T.W., van de Ven A.R., Soliman O.I. et al Contrast echocardiography improves interobserver agreement for wall motion score index and correlation with ejection fraction. Echocardiography 2011; 28(5): 575-581.

20. Debatin J.F., Nadel S.N., Paolini J.F. et al. Cardiac ejection fraction: phantom study comparing cine MR imaging, radionuclide blood pool imaging, and ventriculography. J Magn Reson Imaging 1992; 2(2): 135-142.

21. Hesse B., Lindhardt T.B., Acampa W. Et al. EANM/ESC guidelines for radionuclide imaging of cardiac function. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2008; 35(4): 851-885.

22. Schulman D.S. Assessment of the right ventricle with radionuclide techniques. J Nucl Cardiol 1996; 3(3): 253-264.

23. Slart R.H., Poot L., Piers D.A. et al. Evaluation of right ventricular function by NuSMUGA software: gated blood-pool SPECT vs. first-pass radionuclide angiography. Int J Cardiovasc Imaging 2003; 19(5): 401-407.

24. Iskandrian A.S., Verani M.S. Nuclear cardiac imaging. Principles and applications. Philadelphia: F.A. Davis., 1996: 110-118.

25. Holly T.A., Leppo J.A., Gilmore M.P. et al. The effect of ischemic injury on the cardiac transport of Tc-99m N-NOET in the isolated rabbit heart. J Nucl Cardiol 1999; 6(6): 633-640.

26. Bavelaar-Croon C.D., Atsma D.E., van der Wall E.E. et al. The additive value of gated SPET myocardial perfusion imaging in patients with known and suspected coronary artery disease. Nucl Med Commun 2001; 22(1): 45-55.

27. Montelatici G., Sciagrà R., Passeri A. Et al. Is 16-frame really superior to 8-frame gated SPECT for the assessment of left ventricular volumes and ejection fraction? Comparison of two simultaneously acquired gated SPECT studies. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2008; 35(11): 2059-2065.

28. Williams K.A., Taillon L.A. Left ventricular function in patients with coronary artery disease assessed by gated tomographic myocardial perfusion images. Comparison with assessment by contrast ventriculography and first-pass radionuclide angiography. J Am Coll Cardiol 1996; 27(1): 173-181.

29. Todino V., Rubini G., Cuocolo A. Assessment of left ventricular function by ECG-gated myocardial perfusion scintigraphy with image inversion technique: comparison with equilibrium radionuclide angiography. J Nucl Cardiol 1999; 6(6): 605-611.

30. Gibbons R.J., Balady G.J., Beasley J.W. et al. ACC/AHA guidelines for exercise testing: executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Circulation 1997; 96(1): 345-354.

31. Ceylan Gunay E., Erdogan A., Yalcin H. et al. Prone imaging allows efficient radiopharmaceutical usage by obviating the necessity of a rest study in Tc-99m-methoxyisobutylisonitrile myocardial perfusion scintigraphy. Nucl Med Commun 2011; 32(4): 284-288.

32. Gutstein A., Solodky A., Mats I. et al. Feasibility of myocardial perfusion SPECT with prone and half-time imaging. Nucl Med Commun 2011; 32(5): 386-391.

33. Lette J., Lapointe J., Waters D. et al. Transient left ventricular cavitary dilation during dipyridamole-thallium imaging as an indicator of severe coronary artery disease. Am J Cardiol 1990; 66(17): 1163-1170.

34. Veilleux M., Lette J., Mansur A. et al. Prognostic implications of transient left ventricular cavitary dilation during exercise and dipyridamole-thallium imaging. Can J Cardiol 1994; 10(2): 259-262.

35. Azambuja Gonzalez M.B., Azambuja R.A., Bodanese L.C. Quantification of left ventricular dilatation in myocardial perfusion scintigraphy. Arq Bras Cardiol 2011; 96(5): 363-368.

36. Kamínek M., Myslivecek M., Skvarilová M. et al. Increased prognostic value of combined myocardial perfusion SPECT imaging and the quantification of lung Tl-201 uptake. Clin Nucl Med 2002; 27(4): 255-260.

37. Sanders G.P., Pinto D.S., Parker J.A. et al. Increased resting Tl-201 lung-to-heart ratio is associated with invasively determined measures of left ventricular dysfunction, extent of coronary artery disease, and resting myocardial perfusion abnormalities. J Nucl Cardiol 2003; 10(2): 140-147.

38. Movahed M.R., Hepner A., Lizotte P. et al. Flattening of the interventricular septum (D-shaped left ventricle) in addition to high right ventricular tracer uptake and increased right ventricular volume found on gated SPECT studies strongly correlates with right ventricular overload. J Nucl Cardiol 2005; 12(4): 428-434.

39. Germano G., Kavanagh P.B., Slomka P.J. et al. Quantitation in gated perfusion SPECT imaging: The Cedars-Sinai approach. J Nucl Cardiol 2007; 14: 433-454.

40. Ficaro EP, Lee BC, Kritzman JN, Corbett JR. Corridor4DM: The Michigan method for quantitative nuclear cardiology. J Nucl Cardiol 2007; 14: 455-465.

41. Garcia E.V., Faber T.L., Cooke C.D. et al. The increasing role of quantification in clinical nuclear cardiology: the Emory approach. J Nucl Cardiol 2007; 14(4): 420-432.

42. De Winter O., De Sutter J., Dierckx R.A. Clinical relevance of left ventricular volume assessment by gated myocardial SPET in patients with coronary artery disease. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2002; 29(7): 957-966.

43. Bestetti A., Triulzi A., Di Leo C. Enhanced prognostic stratification of CAD patients with low ejection fraction by stress-rest Tc99m tetrofosmin gated-spect. Acta Cardiol 2004; 59(1): 17-23.

44. van Werkhoven J.M., Schuijf J.D., Gaemperli O. Et al. Prognostic value of multislice computed tomography and gated single-photon emission computed tomography in patients with suspected coronary artery disease. J Am Coll Cardiol 2009; 53(7): 623-632.

45. Bax J.J., Lamb H., Dibbets P. et al. Comparison of gated single-photon emission computed tomography with magnetic resonance imaging for evaluation of left ventricular function in ischemic cardiomyopathy. Am J Cardiol 2000; 86(12): 1299-1305.

46. Vourvouri E.C., Poldermans D., Bax J.J. et al. Evaluation of left ventricular function and volumes in patients with ischaemic cardiomyopathy: gated single-photon emission computed tomography versus two-dimensional echocardiography. Eur J Nucl Med 2001; 28(11): 1610-1615.

47. Henneman M.M., Bax J.J., Schuijf J.D. et al. Global and regional left ventricular function: a comparison between gated SPECT, 2D echocardiography and multi-slice computed tomography. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2006; 33(12): 1452-1460.

48. Choragudi N.L., Prakash A.M., Sun Y. et al. Comparison of echocardiography with technetium 99m-gated single photon emission computed tomography as diagnostic tools for left ventricular ejection fraction. Echocardiography 2001; 18(8): 627-632.

49. Berk F., Isgoren S., Demir H. et al. Assessment of left ventricular function and volumes for patients with dilated cardiomyopathy using gated myocardial perfusion SPECT and comparison with echocardiography. Nucl Med Commun 2005; 26(8): 701-710.

50. Singh B., Manoj R., Vikas P. et al. Comparison of left ventricular functional parameters measured by gated single photon emission tomography and by two-dimensional echocardiography. Hell J Nucl Med 2006; 9(2): 94-98.

51. Harpaz D., Asman A., Kuperstein R. et al. Left ventricular ejection fraction assessment by Tl-201 gated SPECT: a comparison with echocardiography. Clin Cardiol 2010; 33(3): 56-62.

52. Hutyra M., Skala T., Kaminek M. et al. Comparison of left ventricular volumes and ejection fraction assessment by two-dimensional echocardiography compared with gated myocardial spect in patients with ischemic cardiomyopathy. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub 2010; 154(1): 47-54.

53. Kumita S., Cho K., Nakajo H. et al. Assessment of left ventricular diastolic function with electrocardiography-gated myocardial perfusion SPECT: comparison with multigated equilibrium radionuclide angiography. J Nucl Cardiol 2001; 8(5): 568-574.

54. Acampa W., Caprio M.G., Nicolai E. et al. Assessment of poststress left ventricular ejection fraction by gated SPECT: comparison with equilibrium radionuclide angiocardiography. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2010; 37(2): 349-356.

55. Xia W., Lv Z., Wang G. et al. A comparison and validation of blood-pool imaging and ECG-gated SPET myocardial perfusion imaging to assess left ventricular ejection fraction. Hell J Nucl Med 2010; 13(3): 241-245.

56. Sharir T., Germano G., Kang X. et al. Prediction of myocardial infarction versus cardiac death by gated myocardial perfusion SPECT: risk stratification by the amount of stress-induced ischemia and the poststress ejection fraction. J Nucl Med 2001; 42(6): 831-837.

57. Navare S.M., Wackers F..J., Liu Y.H. Comparison of 16-frame and 8-frame gated SPET imaging for determination of left ventricular volumes and ejection fraction. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2003; 30(10): 1330-1337.

58. Montelatici G., Sciagrà R., Passeri A. et al. Is 16-frame really superior to 8-frame gated SPECT for the assessment of left ventricular volumes and ejection fraction? Comparison of two simultaneously acquired gated SPECT studies. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2008; 35(11): 2059-2065.

59. Manrique A., Faraggi M., Véra P. et al. 201Tl and 99mTc-MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. J Nucl Med 1999; 40(5): 805-809.

60. Harisankar C.N., Mittal B.R., Kamaleshwaran K.K. et al. Reliability of left ventricular ejection fraction calculated with gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography in patients with extensive perfusion defect. Nucl Med Commun 2011; 32(6): 503-507.

61. Dostbil Z., Arıtürk Z., Cil H. et al. Comparison of left ventricular functional parameters obtained from three different commercial automated software cardiac quantification program packages and their intraobserver reproducibility. Ann Nucl Med 2011; 25(2): 125-131.

62. Lum D.P., Coel M.N. Comparison of automatic quantification software for the measurement of ventricular volume and ejection fraction in gated myocardial perfusion SPECT. Nucl Med Commun 2003; 24(3): 259-266.

63. Nakajima K., Higuchi T., Taki J. et al. Accuracy of ventricular volume and ejection fraction measured by gated myocardial SPECT: comparison of 4 software programs. J Nucl Med 2001; 42(10): 1571-1578.

64. Schaefer W.M., Lipke C.S., Standke D. et al. Quantification of left ventricular volumes and ejection fraction from gated 99mTc-MIBI SPECT: MRI validation and comparison of the Emory Cardiac Tool Box with QGS and 4D-MSPECT. J Nucl Med 2005; 46(8): 1256-1263.

65. Kakhki V.R., Zakavi S.R., Sadeghi R. Comparison of two software in gated myocardial perfusion single photon emission tomography, for the measurement of left ventricular volumes and ejection fraction, in patients with and without perfusion defects. Hell J Nucl Med 2007; 10(1): 19-23.

66. Hovland A., Staub U.H., Bjørnstad H. et al. Gated SPECT offers improved interobserver agreement compared with echocardiography. Clin Nucl Med 2010; 35(12): 927-930.

67. Khalil M.M., Elgazzar A., Khalil W. Evaluation of left ventricular ejection fraction by the quantitative algorithms QGS, ECTb, LMC and LVGTF using gated myocardial perfusion SPECT: investigation of relative accuracy. Nucl Med Commun 2006; 27(4): 321-332.

68. Véra P., Koning R., Cribier A. et al. Comparison of two three-dimensional gated SPECT methods with thallium in patients with large myocardial infarction. J Nucl Cardiol 2000; 7(4): 312-319.

69. Lapeyre A.C. 3rd, Klodas E., Rogers P.J. et al. Quantitation of regional ejection fractions using gated tomographic imaging with 99mTc-sestamibi. Chest 2005; 127(3): 778-786.

70. Johnson L.L., Verdesca S.A., Aude W.Y. et al. Postischemic stunning can affect left ventricular ejection fraction and regional wall motion on post-stress gated sestamibi tomograms. J Am Coll Cardiol 1997; 30(7): 1641-1648.

71. Hashimoto J., Kubo A., Iwasaki R. et al. Gated single-photon emission tomography imaging protocol to evaluate myocardial stunning after exercise. Eur J Nucl Med 1999; 26(12): 1541-1546.

72. Heiba S.I., Santiago J., Mirzaitehrane M. et al. Transient postischemic stunning evaluation by stress gated Tl-201 SPECT myocardial imaging: Effect on systolic left ventricular function. J Nucl Cardiol 2002; 9(5): 482-490.

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

NÜKLEER TIP ANABİLİM DALI

SOL VENTRİKÜL VOLÜMLERİ VE EJEKSİYON FRAKSİYONUNUN QGS, 4D-MSPECT VE ECTB ALGORİTMALARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Aslı YILDIZ

Uzmanlık Eğitimine Başlama Tarihi : 27.12.2006

Uzmanlık Eğitimini Bitirme Tarihi : 05.01.2012

Uzmanlık Sınavı Tarihi : 05.11.2012

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ali ŞAHİN

Jüri üyesi : Doç. Dr. Bedri SEVEN

Jüri üyesi : Yrd. Doç Dr. Ali ŞAHİN

Jüri üyesi : Yrd. Doç Dr. Arif Kürşad AYAN

Jüri üyesi : Prof. Dr. Nesrin GÜRSAN

Jüri üyesi : Yrd. Doç. Dr. Orhan SEZEN

Doç. Dr. Bedri SEVEN
Nükleer Tıp Anabilim Dalı Başkanı

Ocak-2012
ERZURUM