



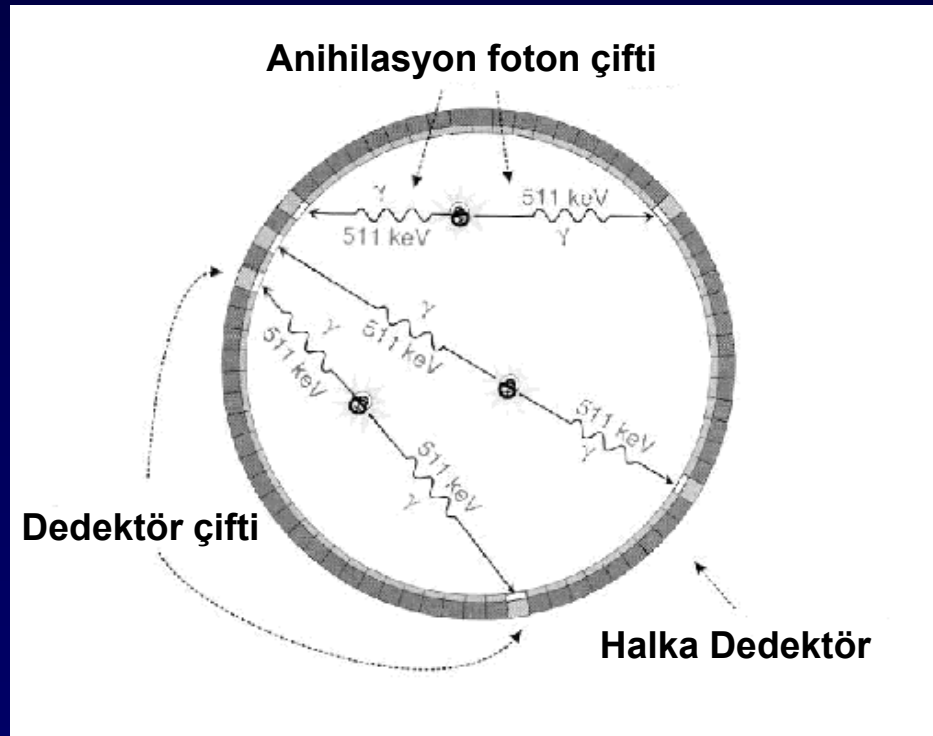
PET/BT'DE KALİTE KONTROL PRENSİPLERİ

MEHMET İNCE

EPSILON ELEKTRONİK

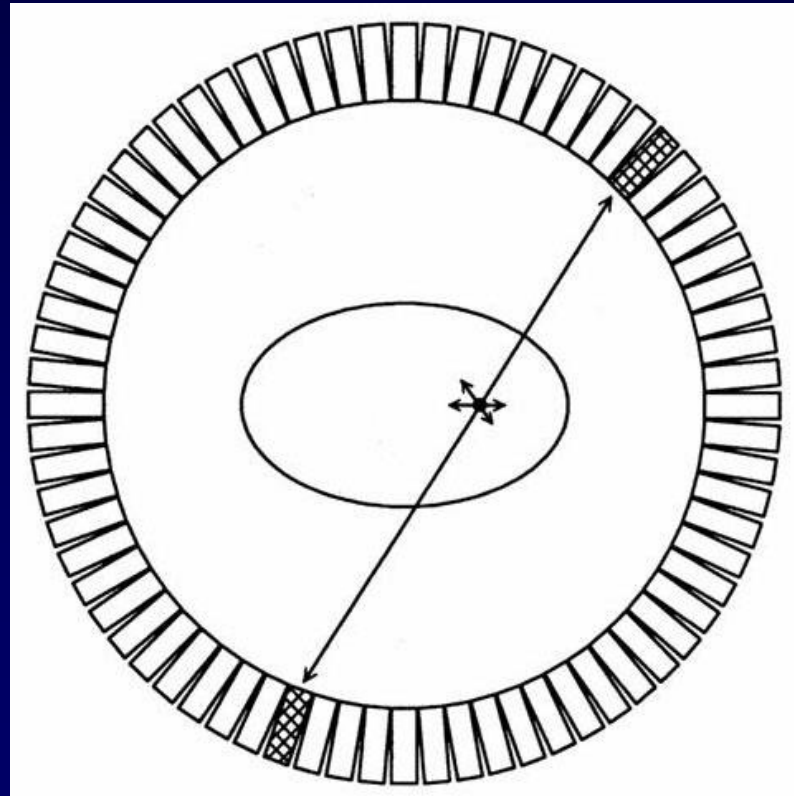
Coincidence

- Zıt yönlü iki gama ışınının eş zamanlı deteksiyonu



LOR (Line of Response)

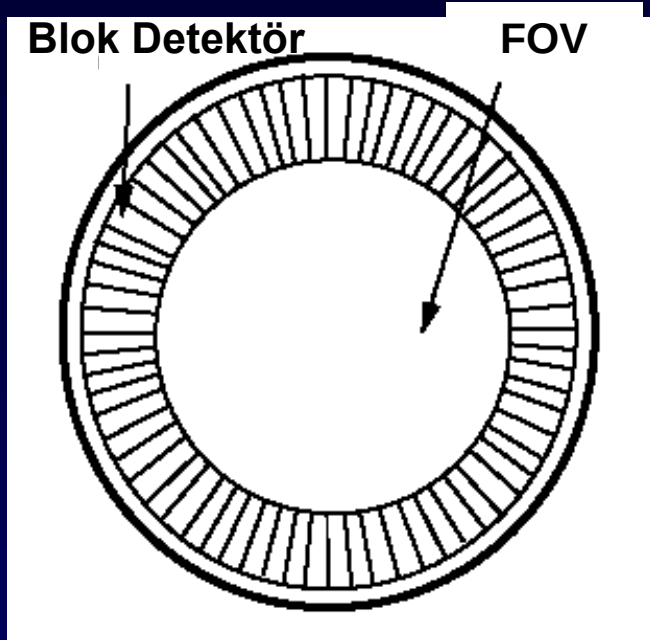
- Anihilasyon olaylarının detekte eden karşılıklı iki detektör arasındaki yol



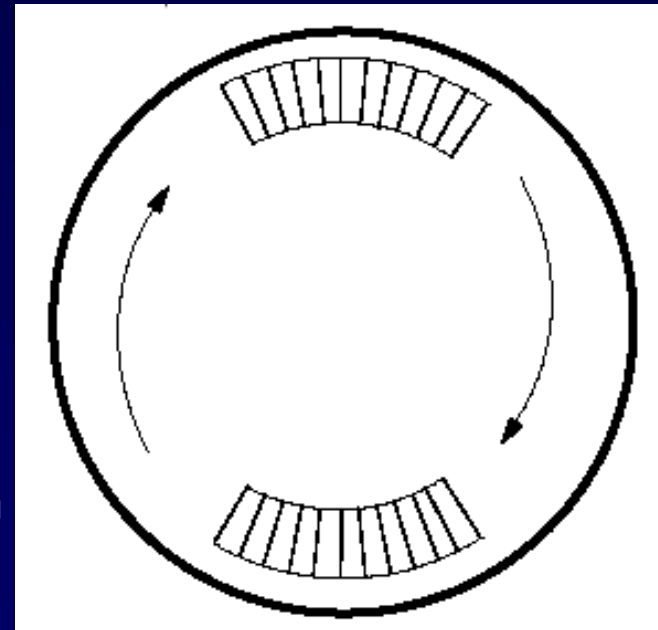
PET Görüntülemede Kullanılan Detektör Çeşitleri

- **Tam halka detektörler (+ BT)**
- **Yarım halka detektörler**
- **Çokgen detektörler**
- **Çift başlı “coincidence” gama kamera**
- **Yüksek enerji kolimatörlü gama kamera**

Yarım ve Tam Halka Detektörler

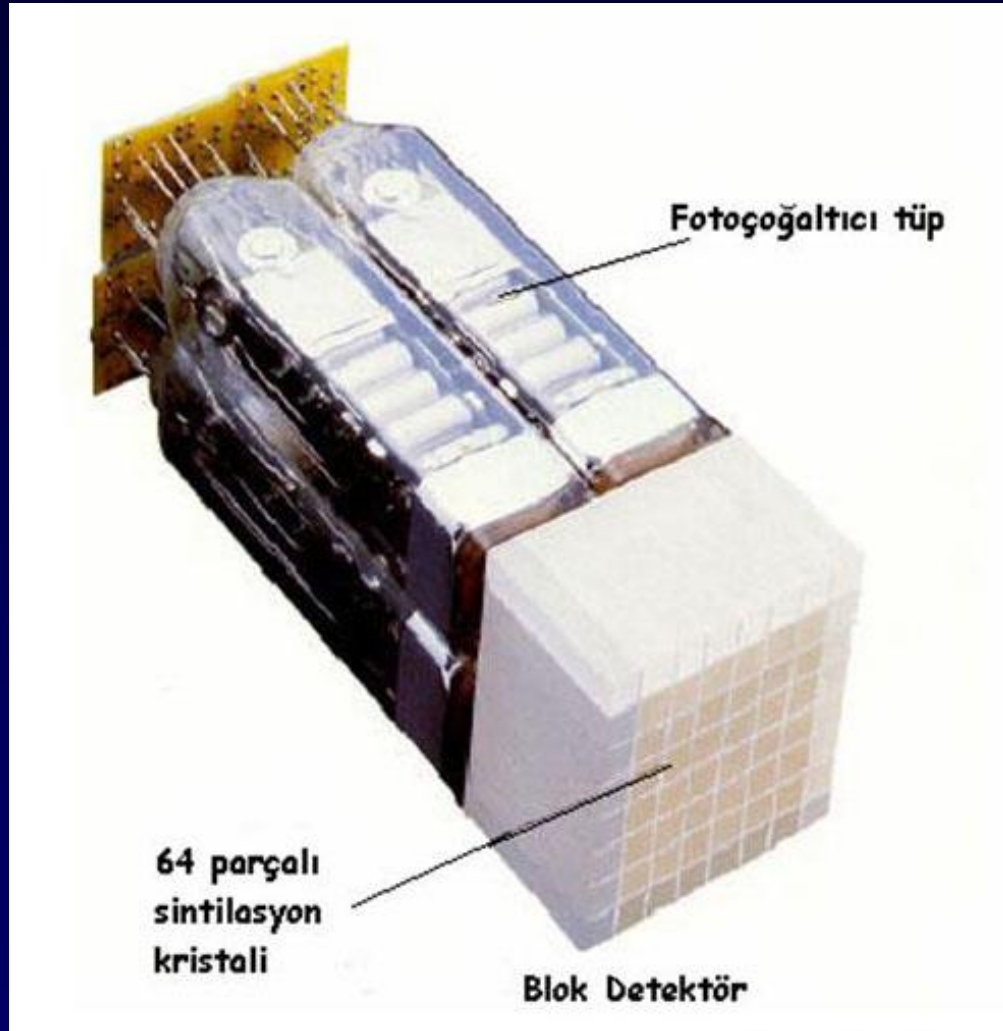


→ Halka Detektör



← Yarım Halka
Detektör

Blok Detektör

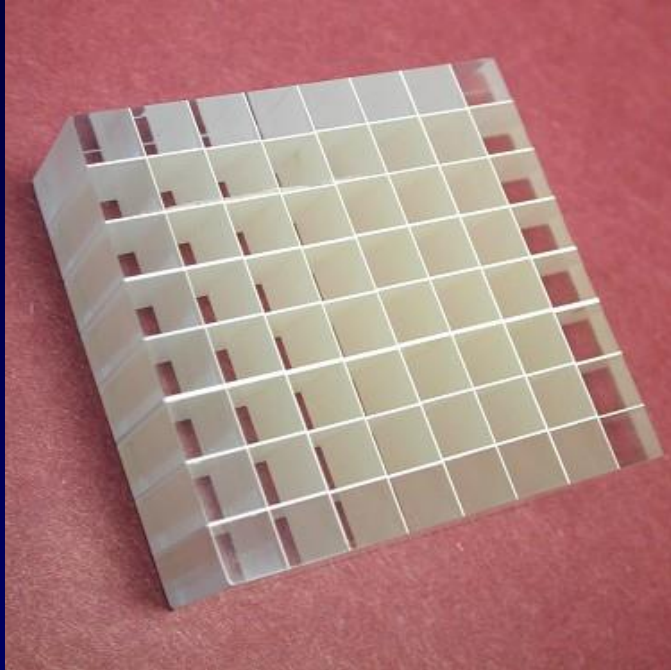


Blok Detektör

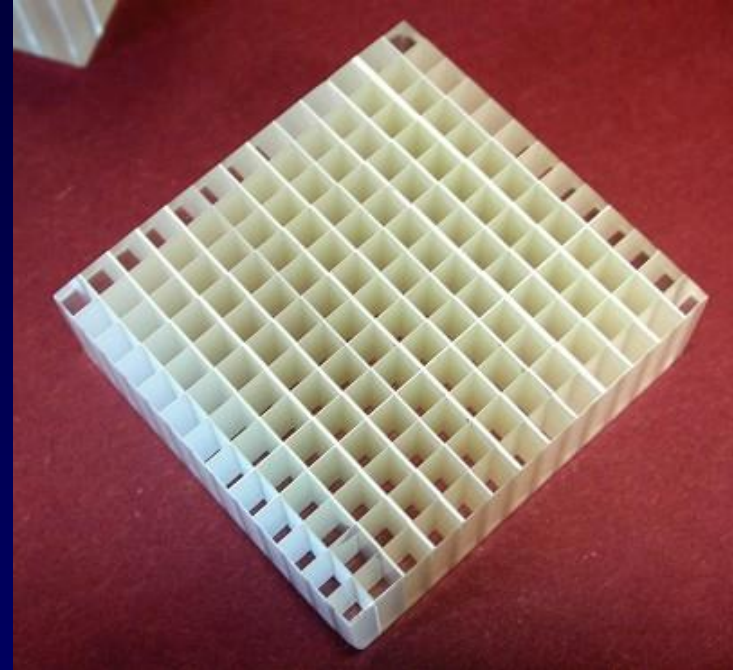


169 PARÇALI KRİSTAL

8x8 ve 13x13 Kristal Karşılaştırması

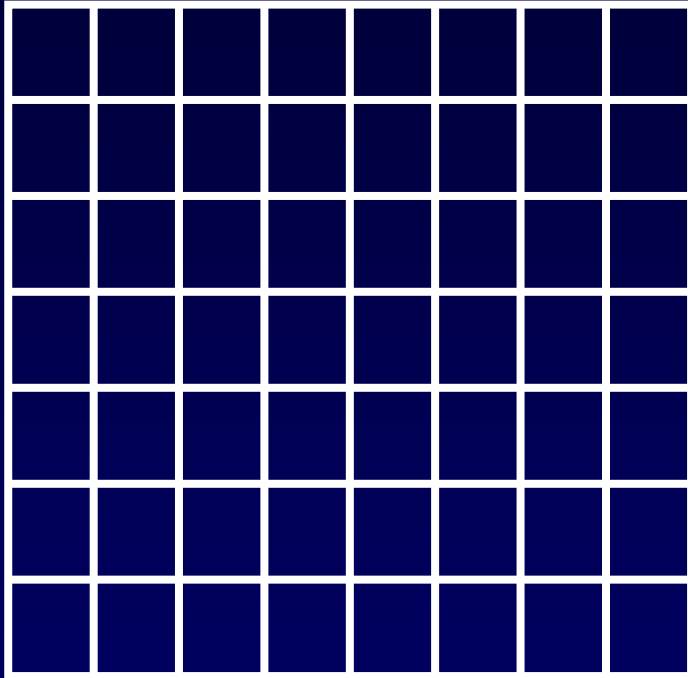


Standart Detektör
64 x (6.4 x 6.4 mm) eleman

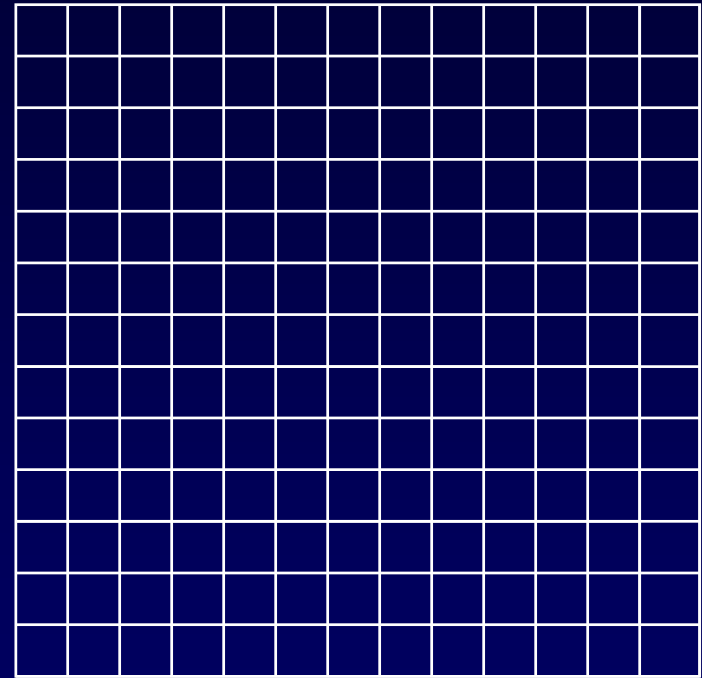


Hi-Rez Detektör
169 x (4.0 x 4.0 mm) eleman

8x8 ve 13x13 Kristal Karşılaştırması

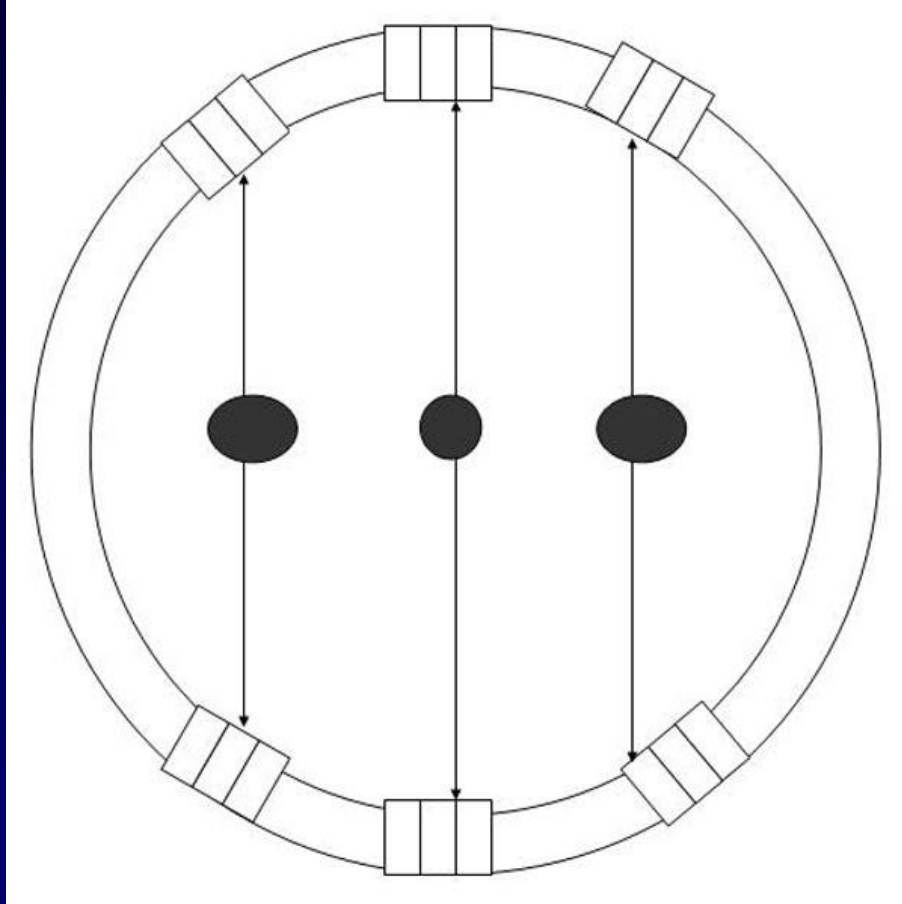


Standart Detektör
64 x (6.4 x 6.4 mm) eleman
Eleman aralığı 0.3 mm



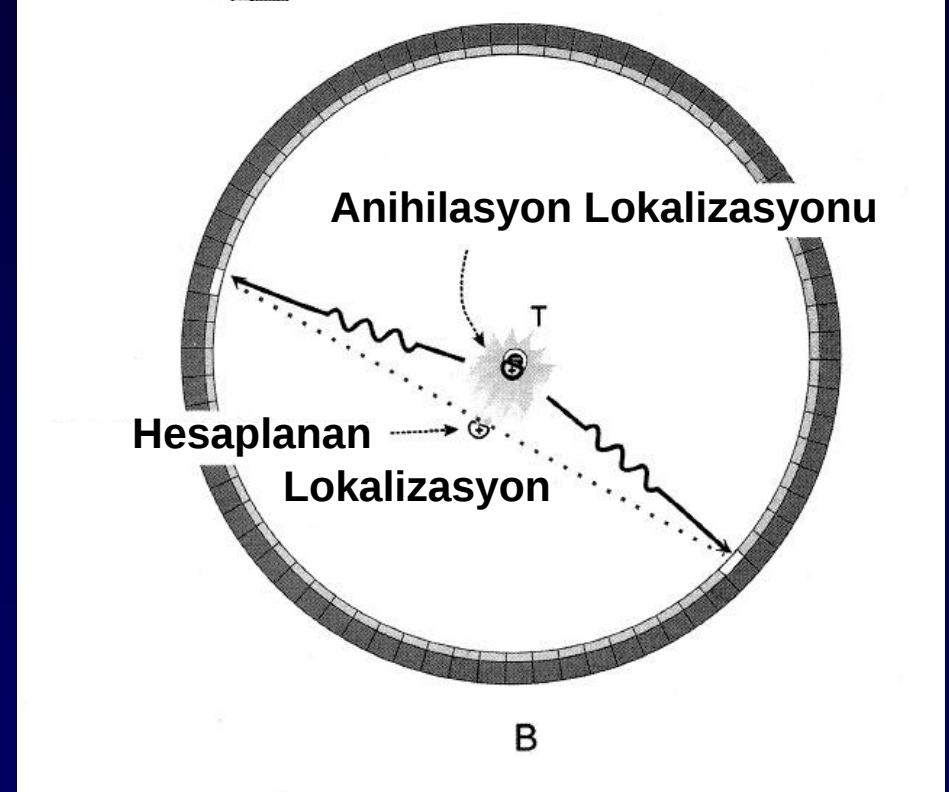
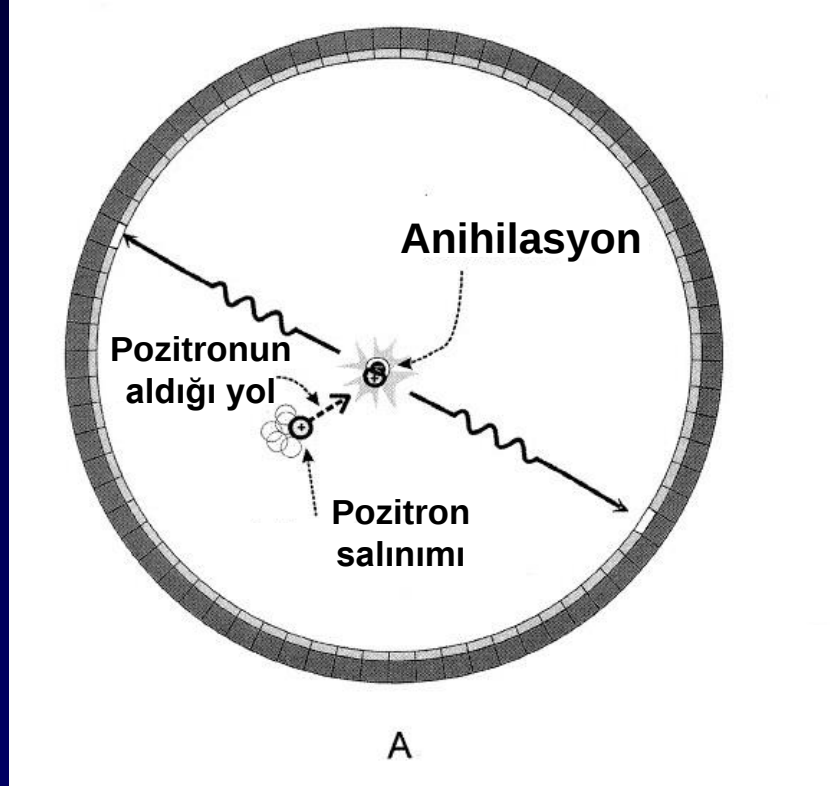
Hi-Rez Detektör
169 x (4.0 x 4.0 mm) eleman
Eleman aralığı 0.03 mm

Radyal Blurring



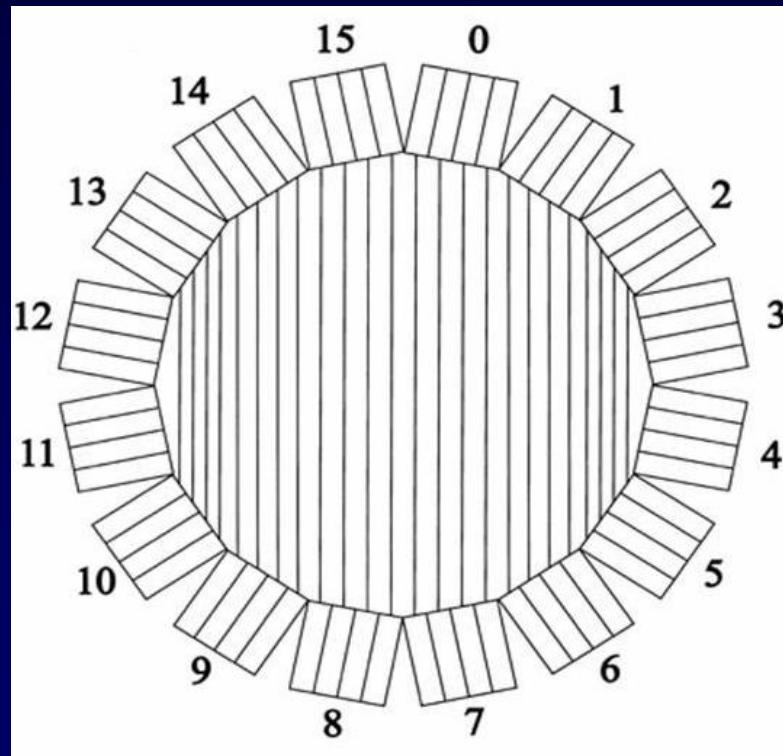
- Halka detektörlerde görüntü alanı uçlarındaki nokta kaynaklar elips şeklinde gözükür.

PET Görüntülemelerde Rezolüsyonu Sınırlayan Faktörler



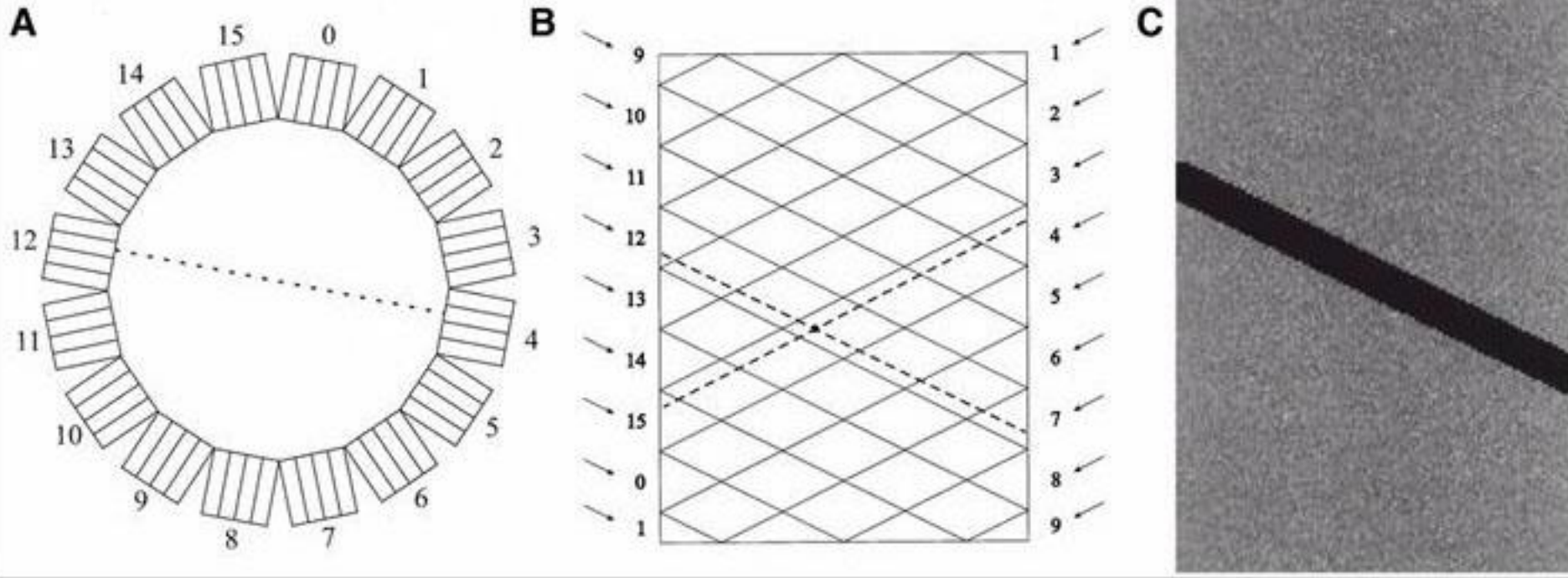
- F-18 için pozitronun aldığı yol 2.6 mm (suda)
- Rb-82 için pozitronun aldığı yol 17 mm

Geometrik Ark Düzeltmesi (geometric arc correction)



Sinogram Viewer

16 blok detektörlü sistemde detektör bloklarının
sinogram üzerinde gösterimi



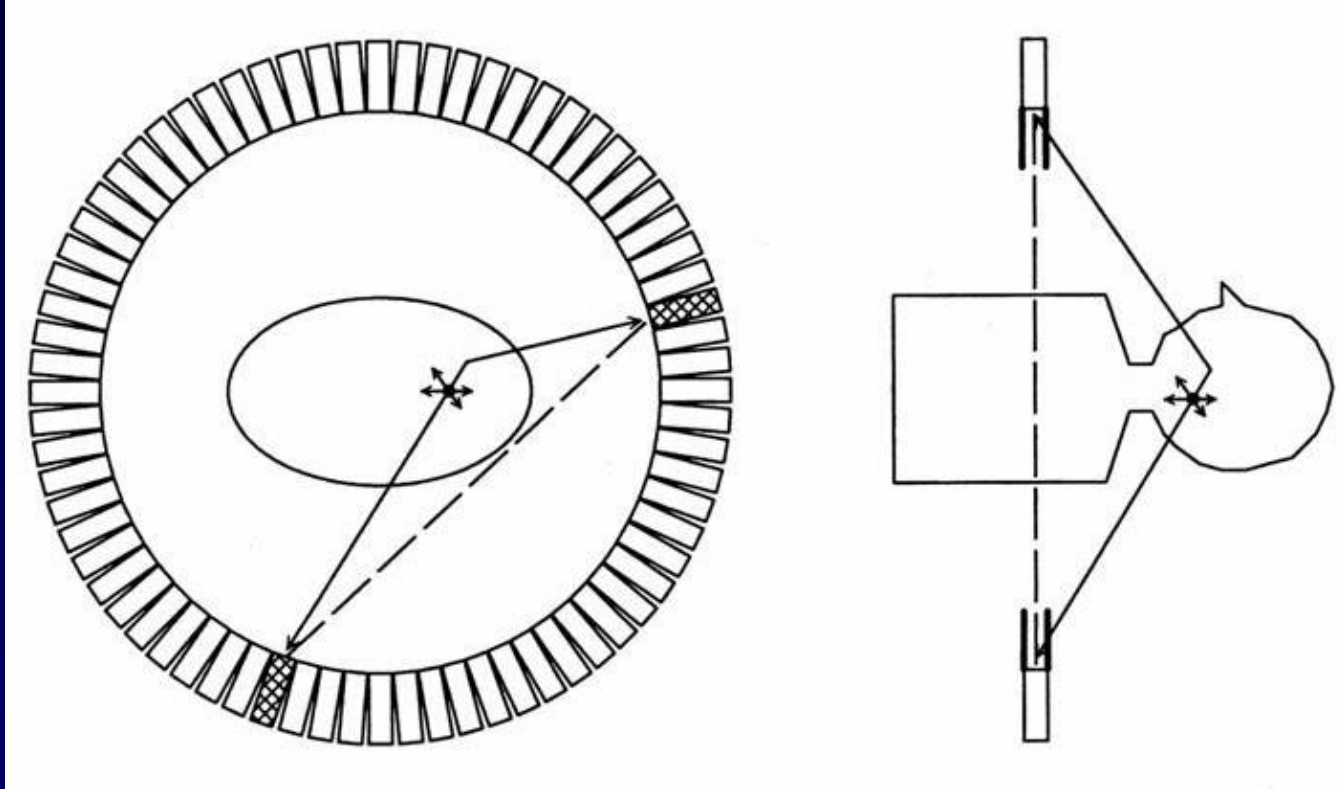
Görüntü Kalitesini Etkileyen Faktörler

- Fiziksel faktörler
- Donanım artefaktları
- Veri toplama artefaktları
- İşleme artefaktları

Fiziksel faktörler

- Compton Saçılımı
- Atenüasyon
- Random olaylar
- Ölü zaman
- Gürültü
- Rezolüsyon

Compton Saçılımı



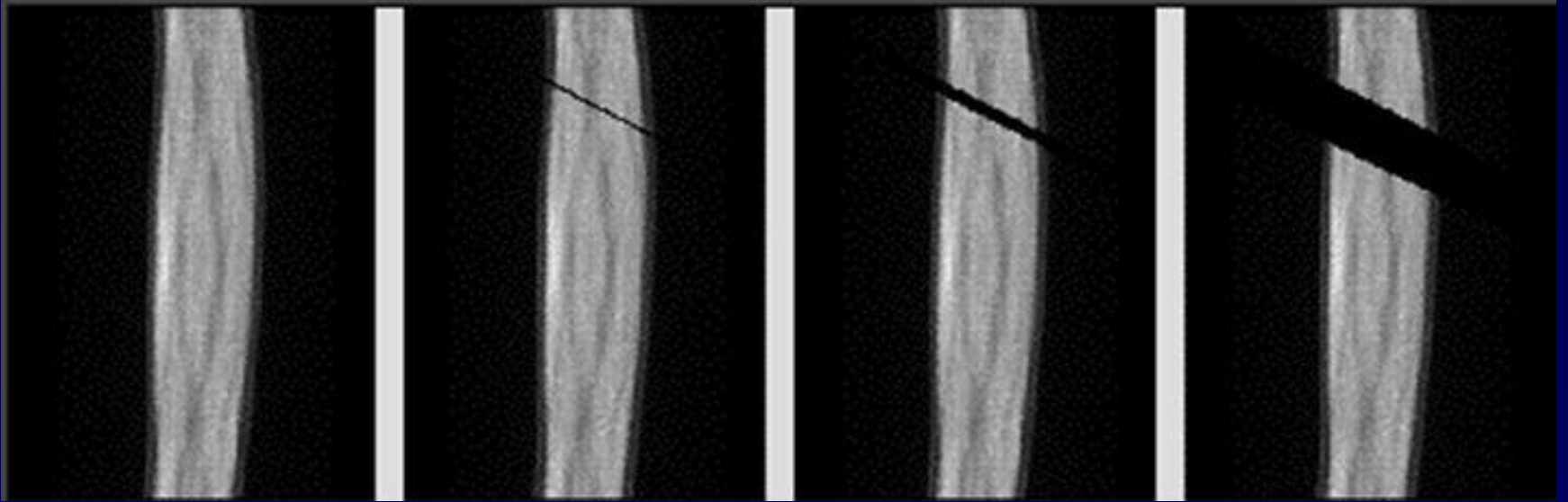
FOV içi saçılım

FOV dışı saçılım

Donanım artefaktları

- Detektör arızası
- İşleme donanımı artefaktı
- Bellek arızası

Detektör arızalarının sinogramdaki görünümleri



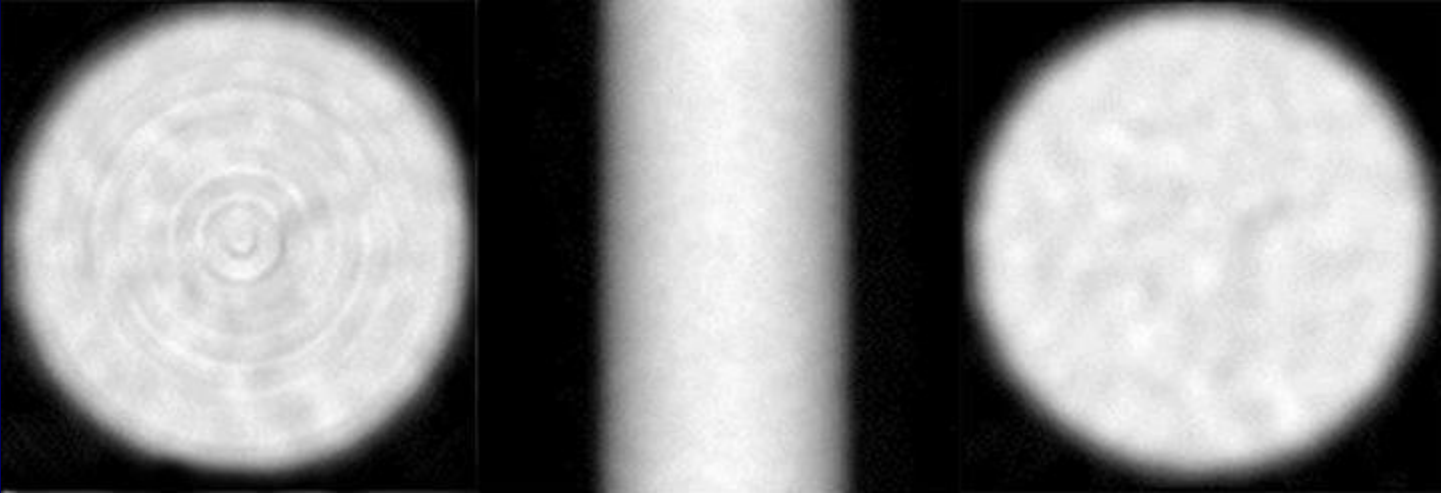
Normal

Kötü Detektör

Kötü Blok

Kötü Kontrolör

İşleme donanımı artefaktı



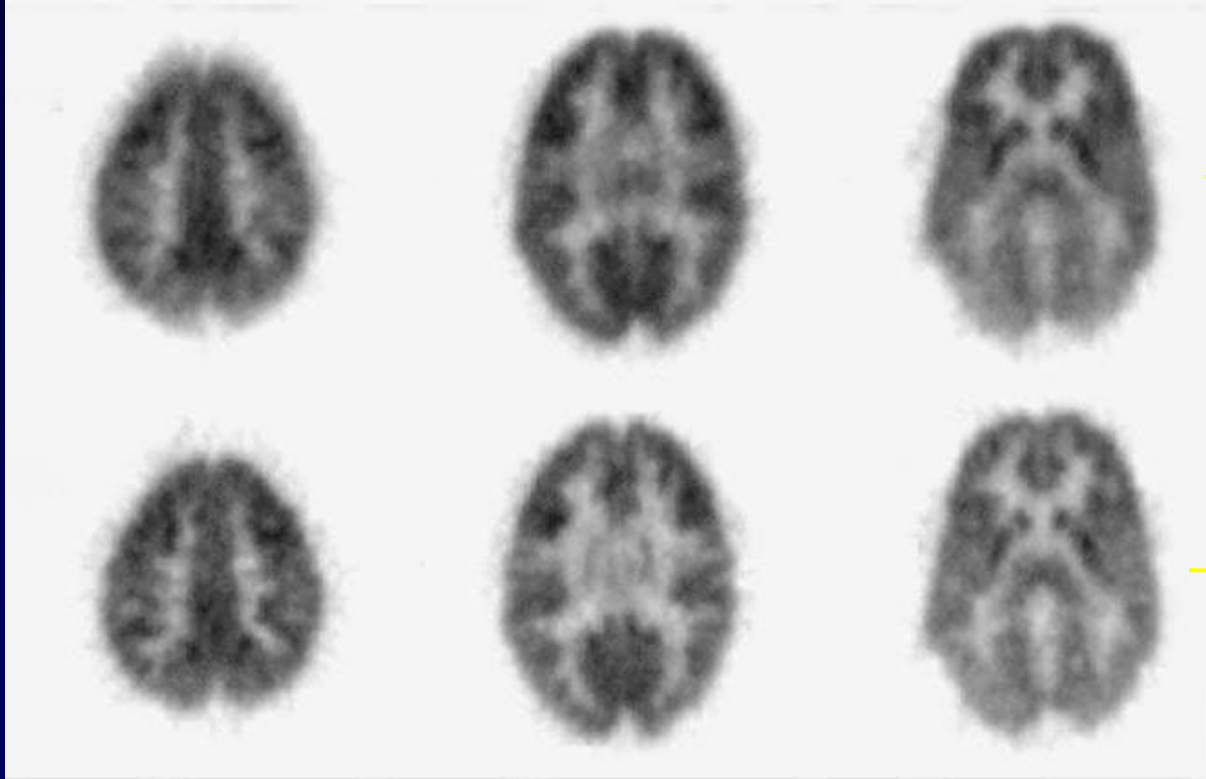
“Array processor” den
kaynaklanan halka artefaktlar

“Array processor”
kullanılmadan
oluşturulan görüntü

Veri toplama artefaktları

- Hasta hareketi
- Gantry kaynaklı artefaktlar

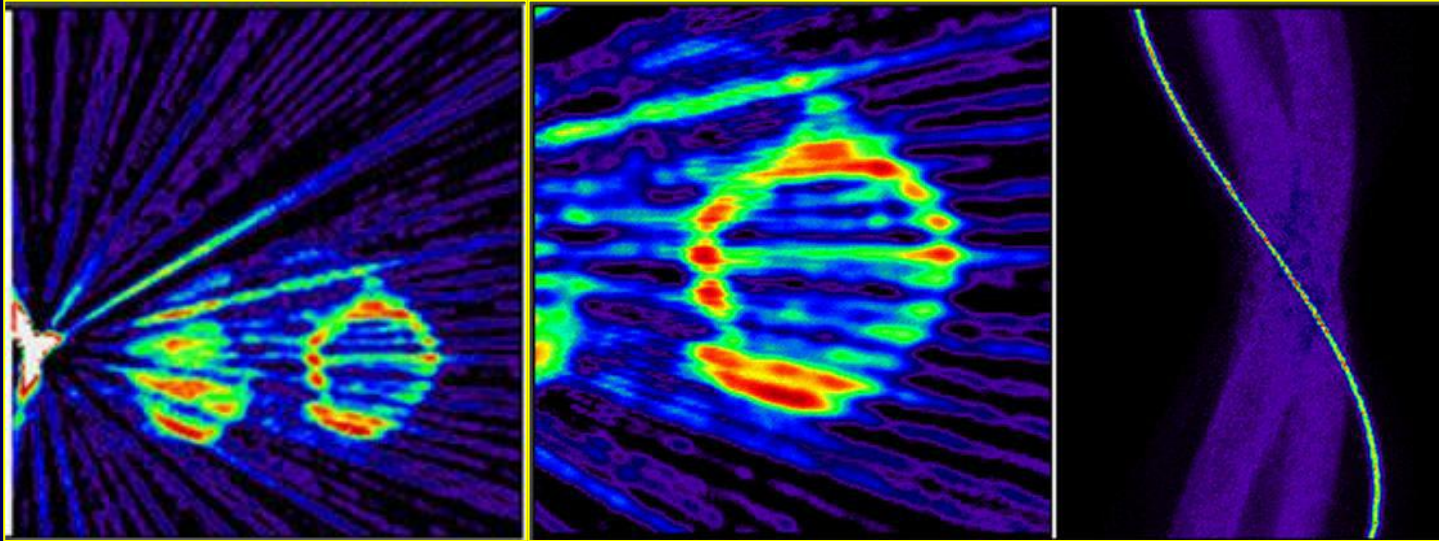
Hasta Hareketi



Bütün verilerin
toplanmasıyla
elde edilen görüntüler

Sadece hastanın
hareketsiz olduğu verilerin
toplandığı görüntüler

Kardiak FDG alışması ve Gantry kaynaklı artefakt



Kalibrasyonlar

Elektronik düzeyde yapılan kalibrasyon

Detektör normalizasyonu

- Geometrik ark düzeltmesi
- Kristal etkisinin düzeltilmesi
- Üniform olmayan kristal verimi düzeltmesi

Kaynak pozisyonu kalibrasyonu

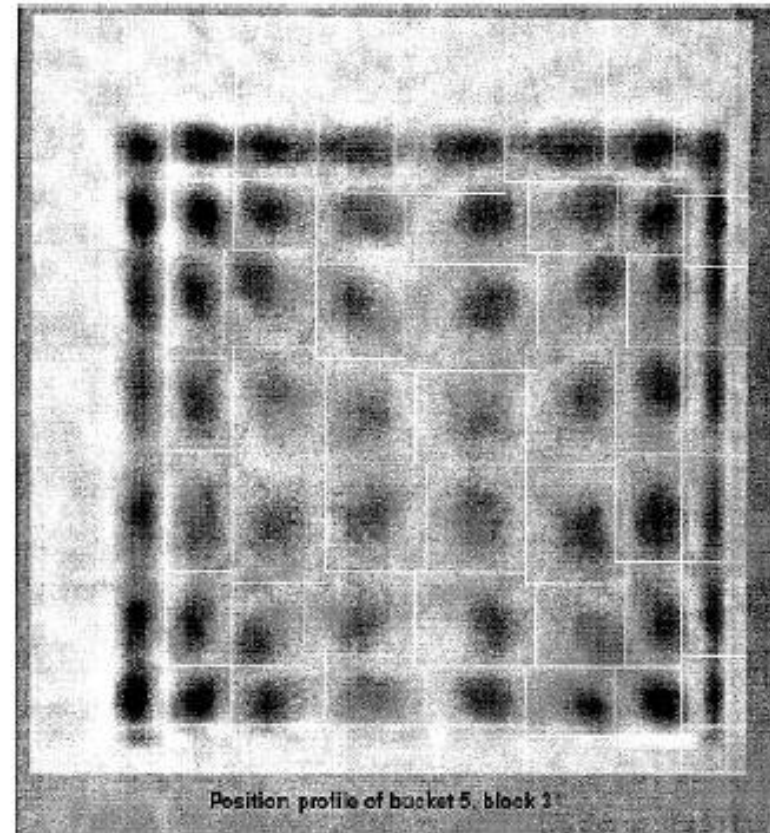
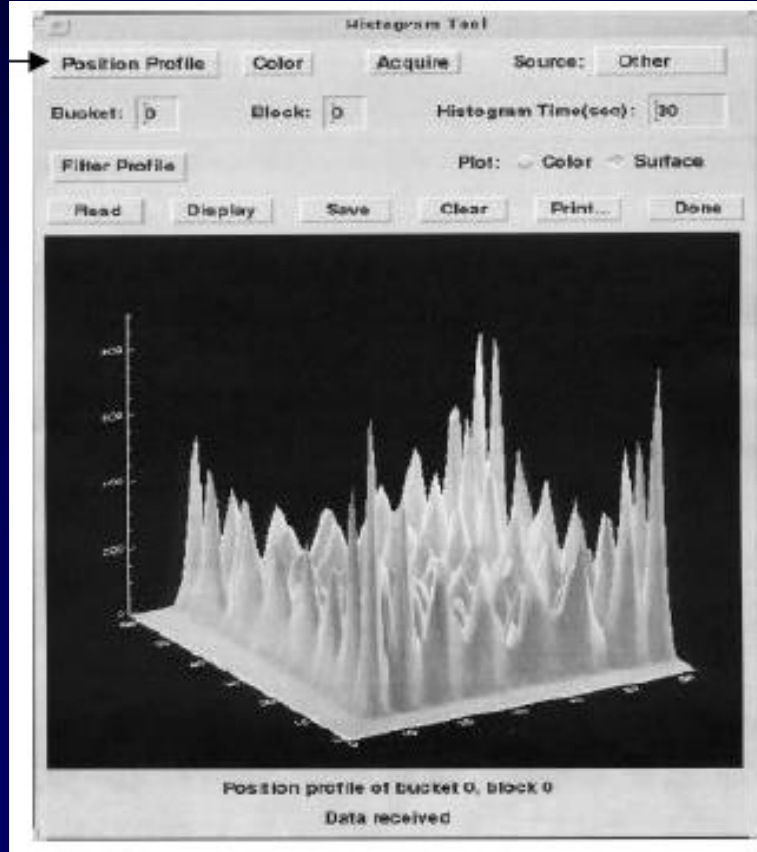
Elektronik Düzeyde Yapılan Kalibrasyon (Bucket Setup)

- **CFD (Constant fraction discriminator):** Sistemin gama ışınlarını algılaması ile ilgili ayar. 125 Kev den büyük gama ışınları sistemi tetikler.
- **XY Ayarı:** Detektör blok yüzeyince x ve y yönünde sistemin kendini elektronik test sayımlarıyla denemesi. Sonrasında gerekli kompanzasyonların yapılması (yeni Hi-Rez sistemlerde yapılmıyor).

Elektronik Düzeyde Yapılan Kalibrasyon (Bucket Setup)

- **Time Ayarı:** Gantry içindeki elektronik kartlarda coincidence olay iletimi pico saniyelerle olur. Elektronik bileşenlerin offsetleri buna göre ayarlanır.
- **PMT kazanç ve diğer ayarlar:** Burada PMT'lerin kazançları, kristal enerji peak'leri, pozisyon profilleri, kristal enerjileri ayarlanır.
- **Sistem time ayarı:** Gantry merkezine konulan uniform Ge-68 kaynağından elde edilen coincidence olayların incelemesiyle zaman optimizasyon tablosu oluşturulur.

PMT Kazançları ve Peak'leri



Normalizasyon

- Ge-68 silindirik üniform kaynak FOV merkezinde
- 2D için 3 mCi, 400 milyon sayım
- 3D için 0.5 mCi, 200 milyon sayım

Sonuç:

- Kesitler üzerinde normalize edilmiş LOR'lar ortalamanın $\pm \%10$ 'u arasında olmalıdır.
- Sistem elde edilen sinogramları kontrol eder ve kaydeder.
- Detektör bloklarındaki problemler belli bir sınıra kadar bu kalibrasyonla görüntüye yansıtılmaz.
- Burada alınan sinogram günlük detektör kontrolünde referans olarak kullanılır.

Normalizasyon

SUV:

Normalizasyon'da ayrıca SUV hesaplamalarında kullanılan faktörler hesaplanır.

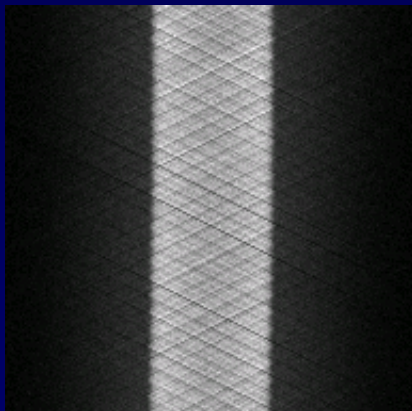
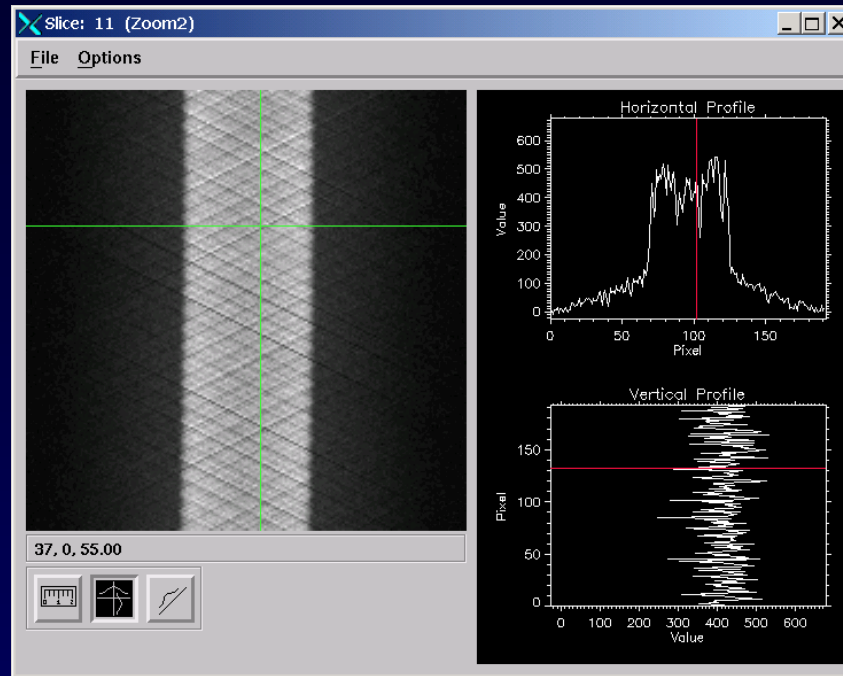
Uygulama Peryodu:

Ayda bir kez veya günlük detektör kontrolü sonuçlarına bağlı olarak ihtiyaç duyulduğu zaman uygulanmalıdır.

Ge-68 Fantomunun Pozisyonlaması



Normalizasyon Düzeltmesi



sinogram

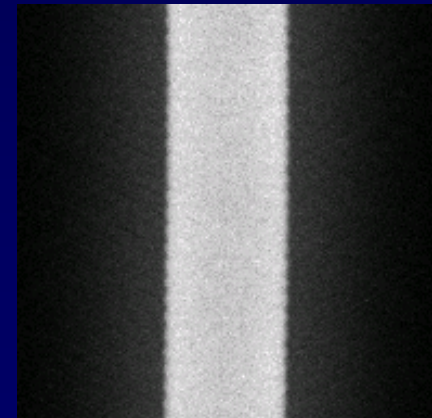
*

?

=

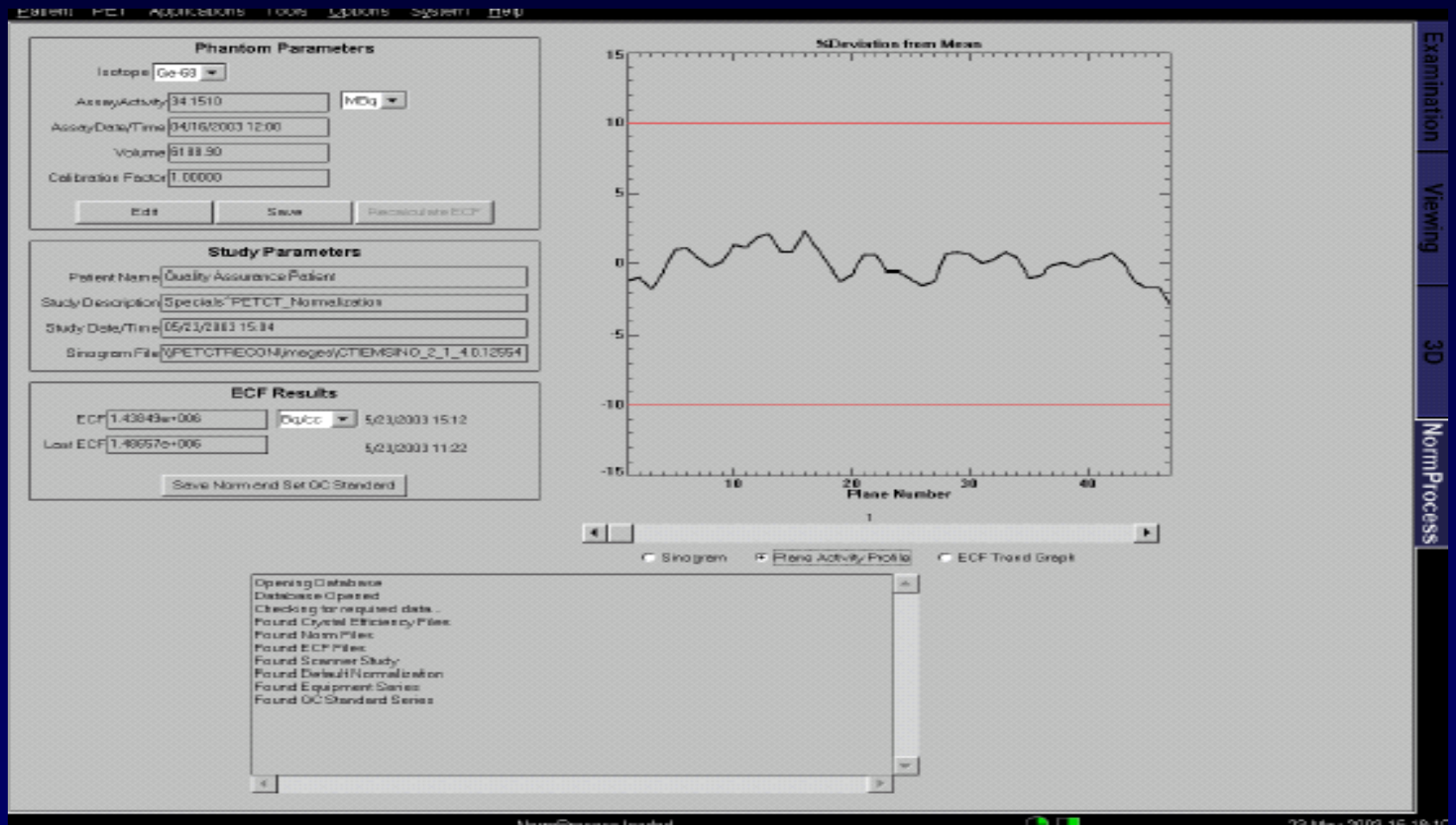


correction factors

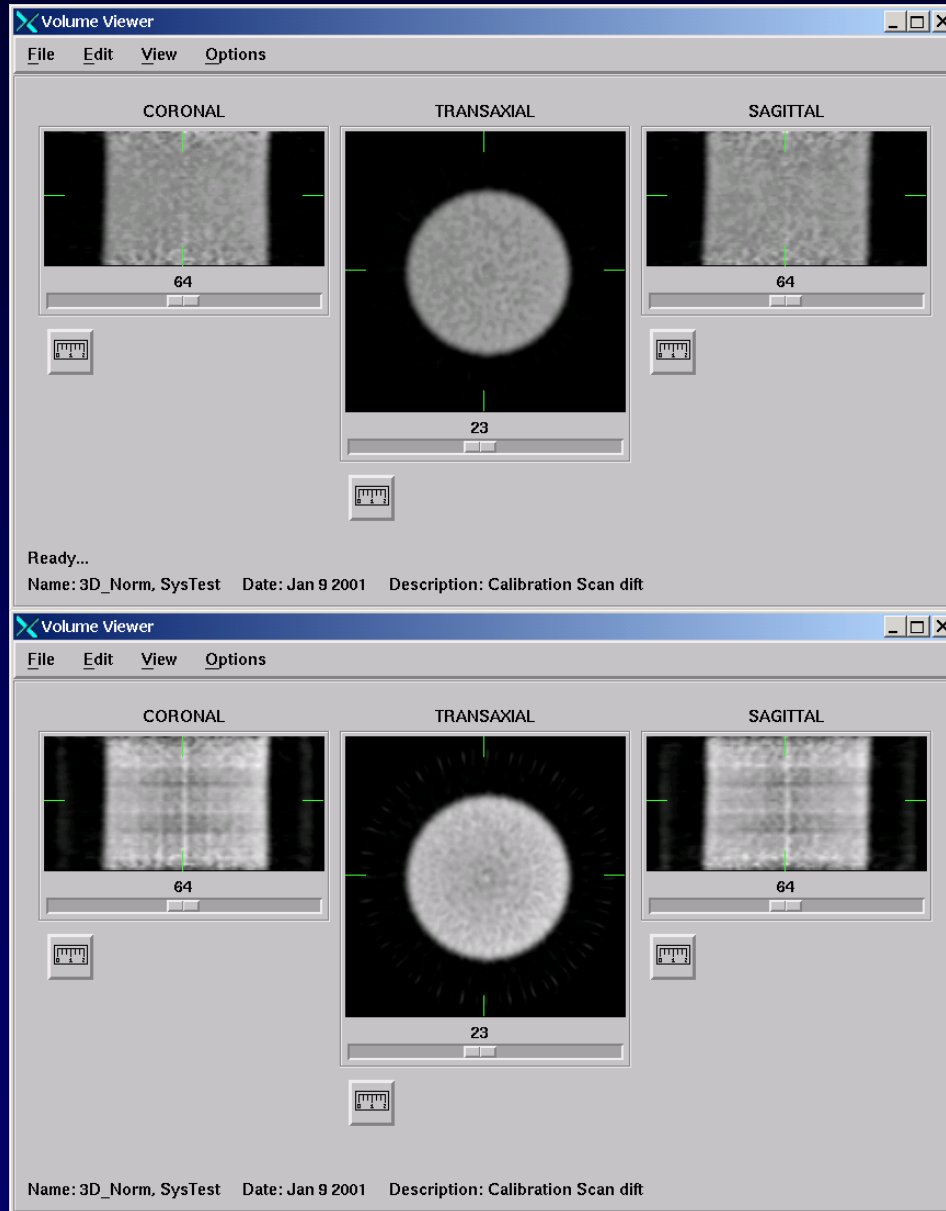


normalized sinogram

Normalizasyon Sonucu



Normalizasyon düzeltmesi

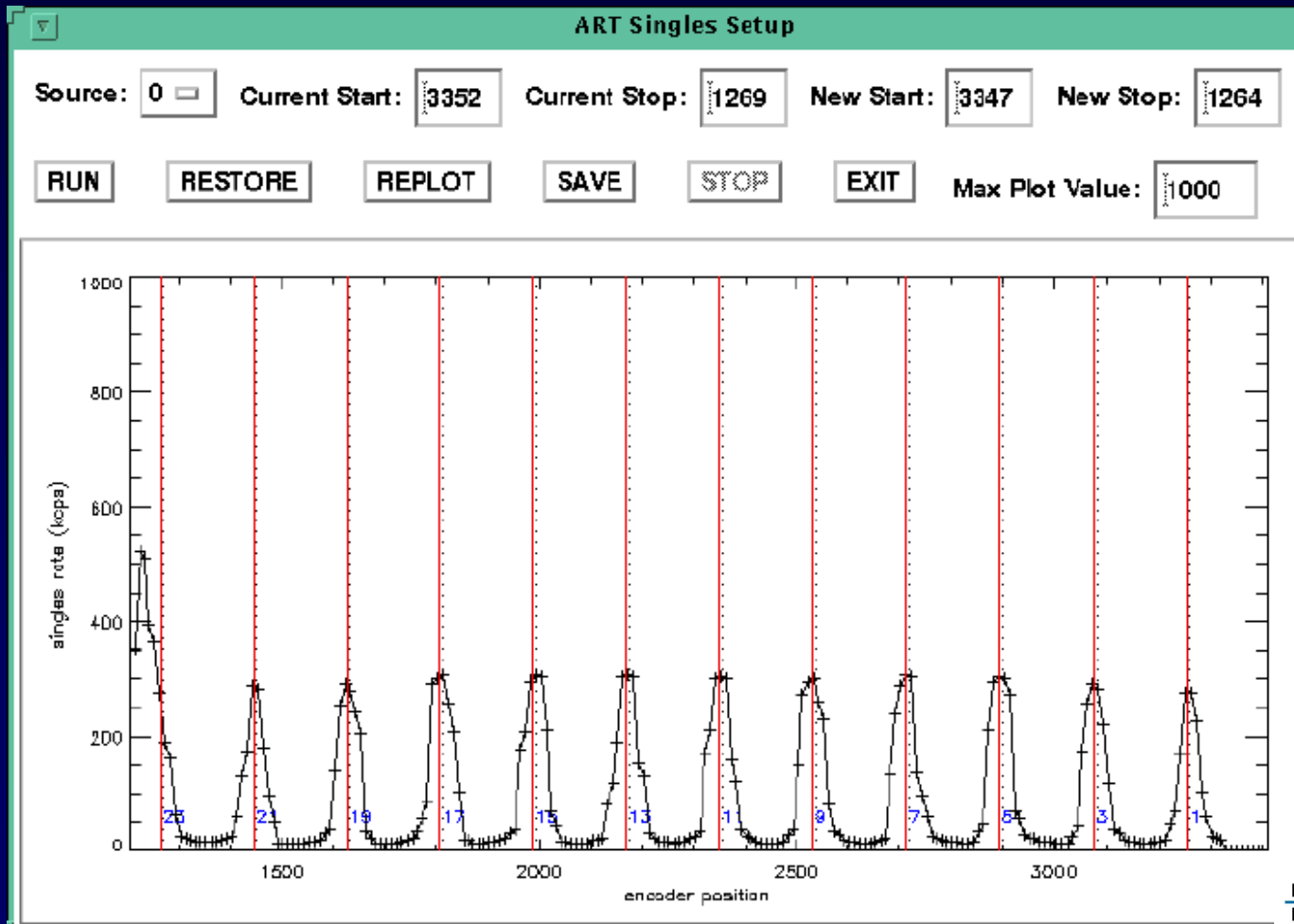


**Normalizasyon
uygulanmış**

**Normalizasyon
uygulanmamış**

Kaynak pozisyonu kalibrasyonu

- Tek ışın yayınlayan kaynaklar kullanarak atenuasyon düzeltmesi yapan sistemlerde uygulanır.
- Acquisition süresi 20 dakika



RUTİN KALİTE KONTROL TESTLERİ

- **Günlük testler**
- **Haftalık testler**
- **Altı aylık testler**

Günlük Testler

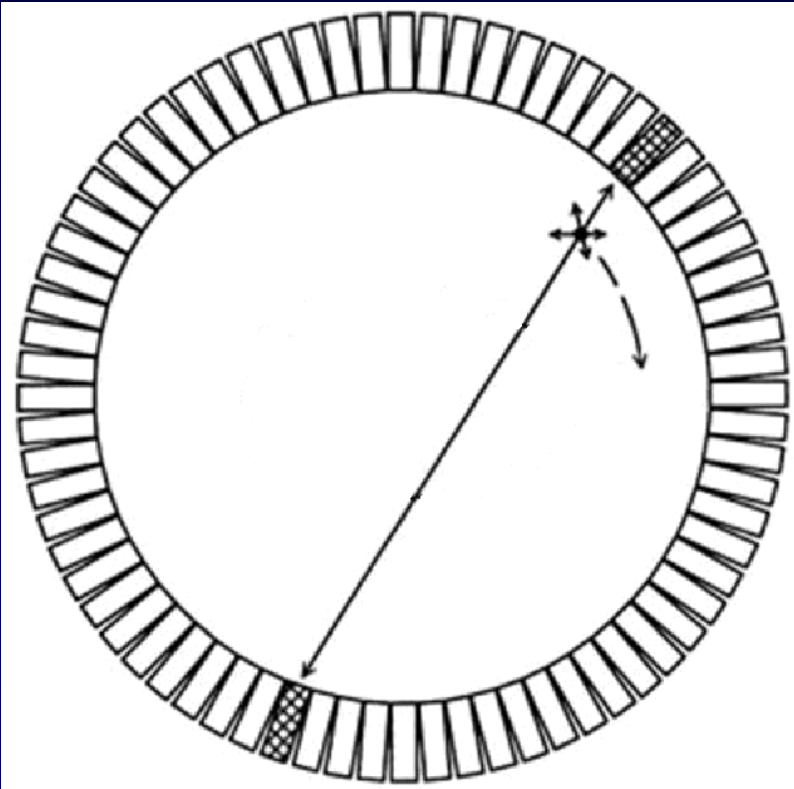
I. Atenüasyon düzeltmesi için gereken testler:

a. Blank tarama

b. Referans taraması

II. Detektör kontrolü

Blank Tarama



- Tam halka detektörlü sistemler.
- Ge-68 çizgisel kaynak
- Atenüasyon düzeltme faktörü

Referans Taraması



- Sadece yarım halka detektörlü sistemler,
- Slab (üniform blok) fantom
- Cs-137 nokta kaynak
- Atenüasyon düzeltme faktörü

Tam halka detektörlü sistemlerde detektör kontrolü

- Blank taraması ve günlük detektör kontrolü aynı anda uygulanır.
- Ge-68 çizgisel kaynak
- 400 milyon sayım (veya 2 saat acquisition süresi)
- Standart sapma (SD)
- Detektörler arası sayım farklılığı (%)
- %RMS

Yarım halka detektörlü sistemlerde detektör kontrolü

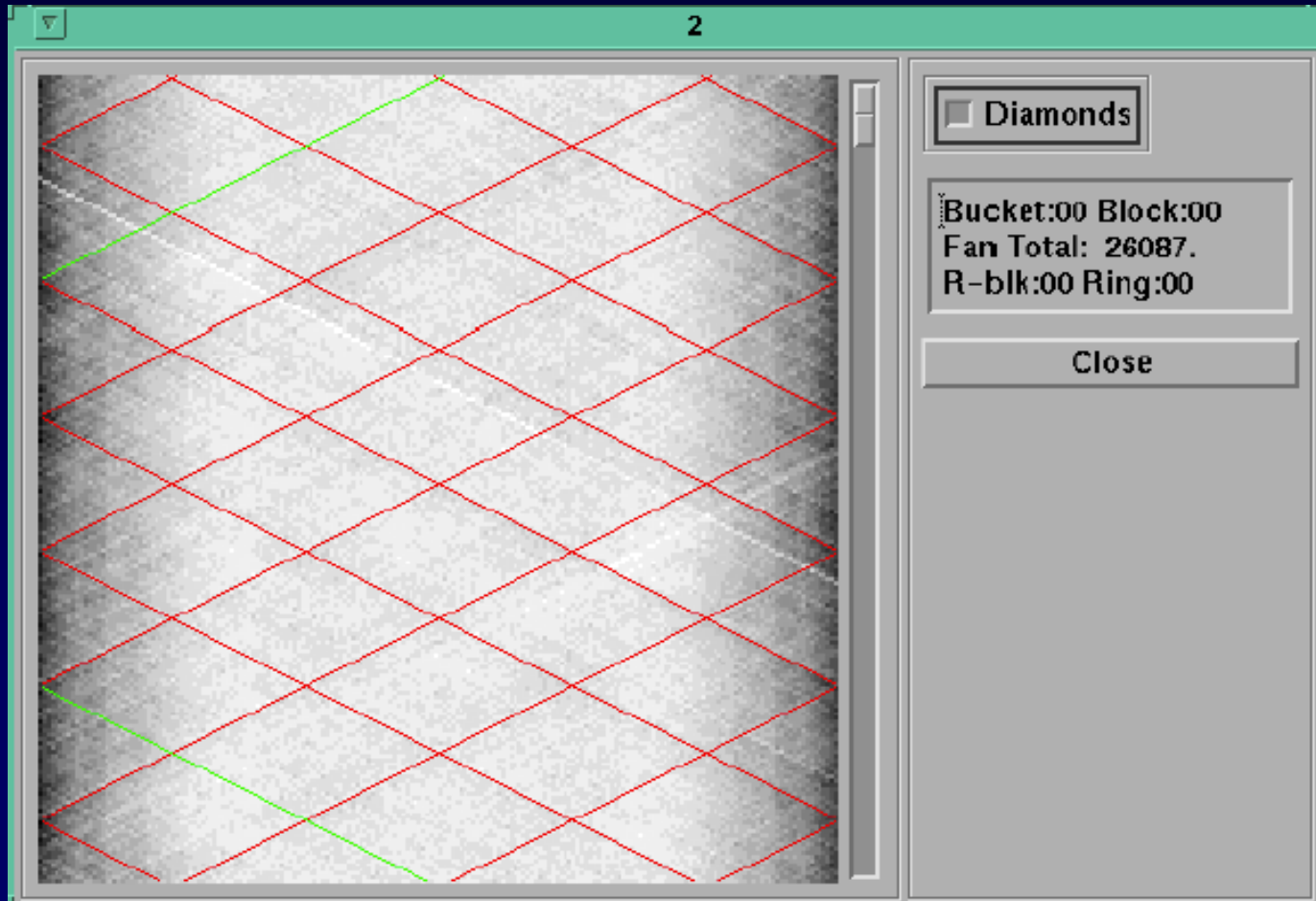


- Silindirik üniform kaynak (0.1-1.6 mCi Ge-68)
- Çizgisel kaynak (0.005-1 mCi Ge-68)
- 200 milyon sayım (veya 2 saat acquisition süresi)
- Detektörler arası sayım farklılığı (%)
- %RMS

Detektör kontrolü sonuçları

	Tam halka PET	Yarım Halka PET
Detektör bloklarının sayım farklılığı	<%10	<%11
RMS	<%15	<%15
Standart sapma	2.5-5	-

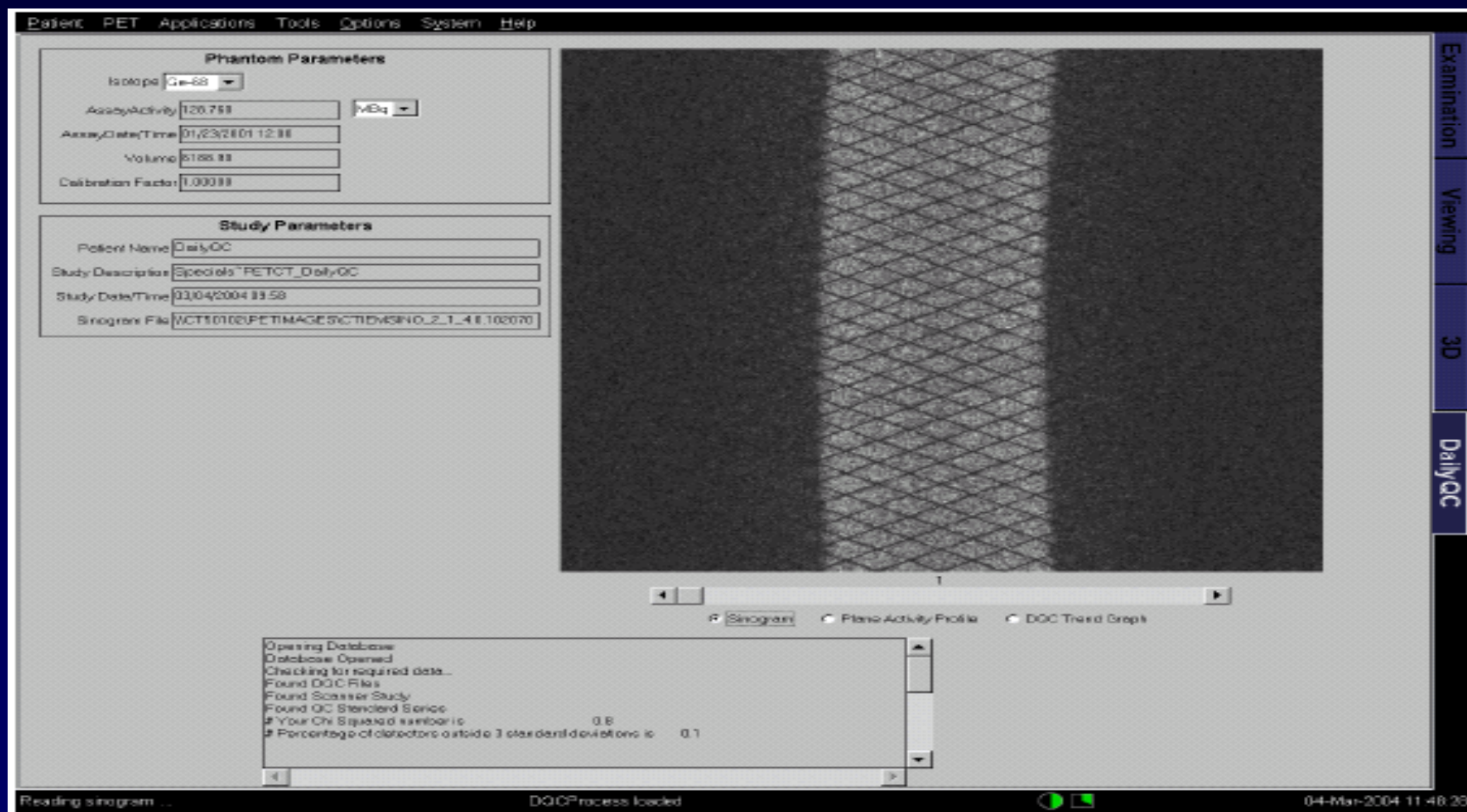
Detektör kontrolünün “Sinogram Viewer”da incelenmesi



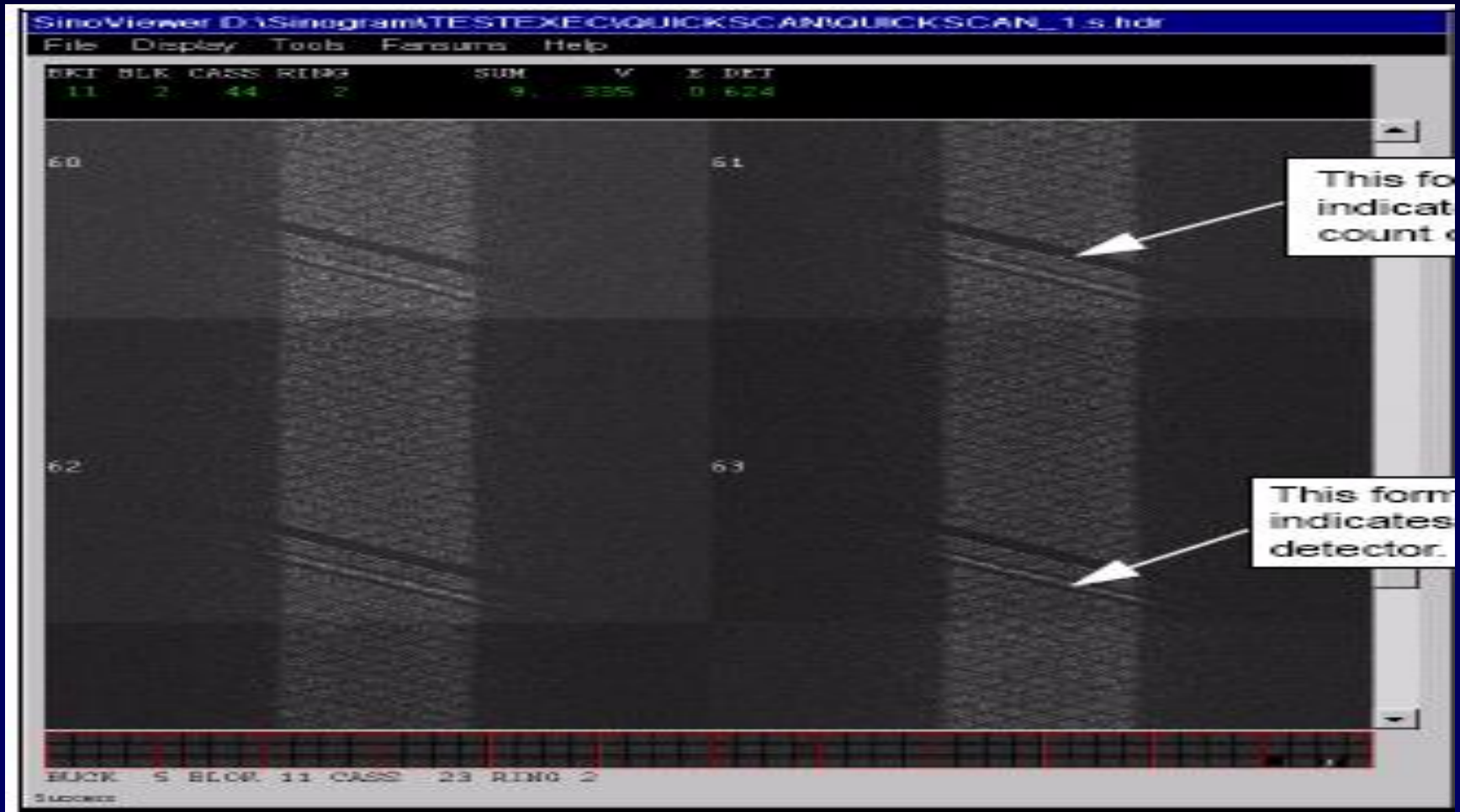
PET/BT'de detektör kontrolü

- **Üniform 1.2 mCi Ge-68 silindirik fantom kullanılır.**
- **Elde edilen sinogramlar normalizasyon sinogramlarıyla karşılaştırılıp aradaki farklar istatistiksel olarak çıkarılır.**
- **Elde edilen sonuç 0-10 arasında olmalıdır.**
- **Ayrıca sinogramlar görsel olarak analiz edilir.**

PET/BT'de detektör kontrolü



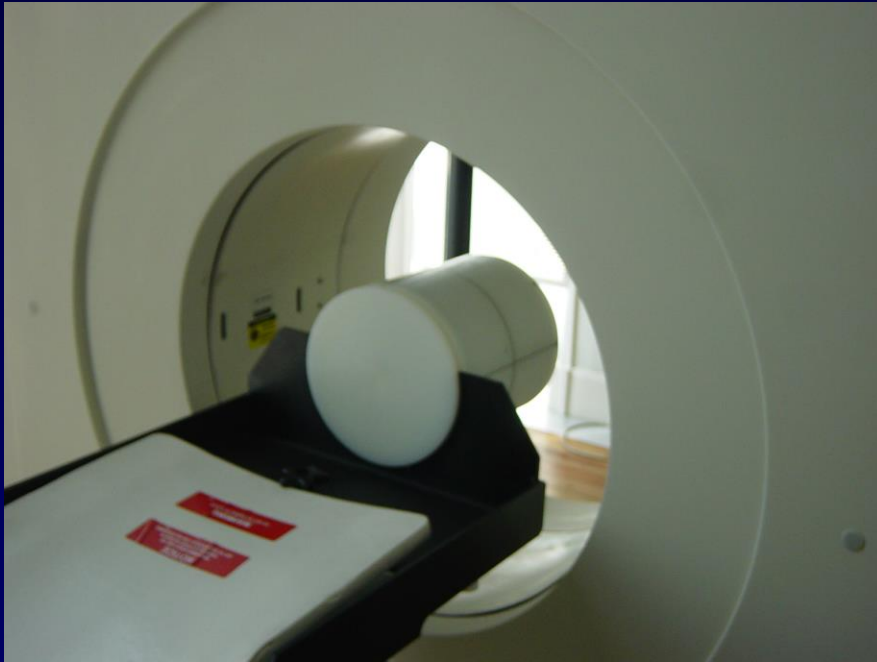
PET/BT'de detektör kontrolü



Haftalık Testler

- Üniformite testi
- Sensitivite

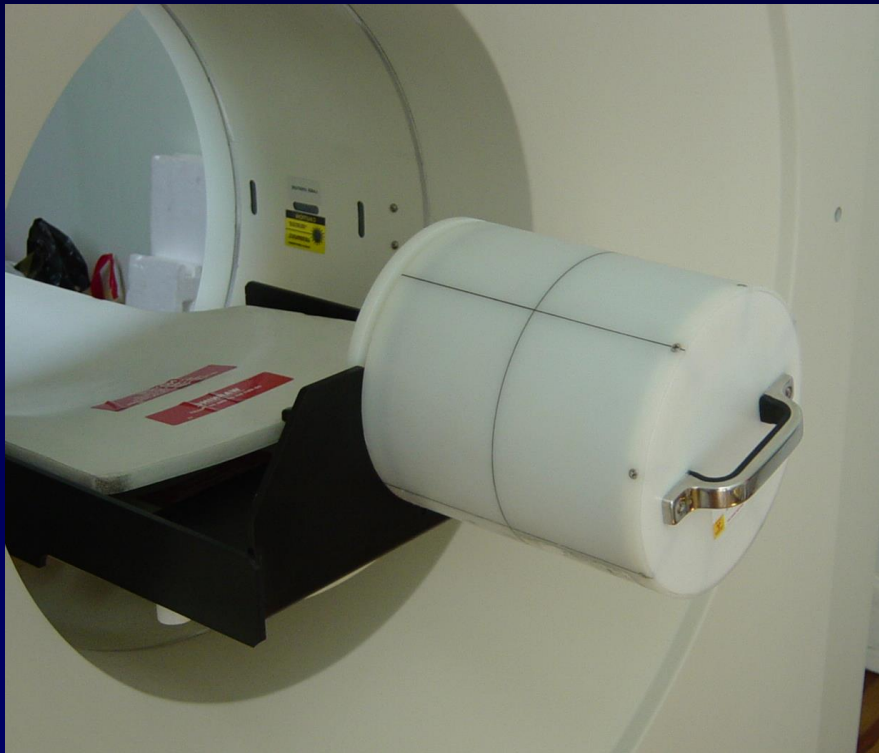
Üniformite testi



- Silindirik üniform kaynak (0.1-1.6 mCi Ge-68)
- Merkezden 25 mm offset
- ~940 milyon sayım
- 15 cm çapında ROI

Sonuç: volüm RMS
<%10

Sensitivite



- Silindirik üniform kaynak (0.1-1.6 mCi Ge-68)
- Kaynak FOV merkezinde
- 15 dakika acquisition

Sonuç:

Tam halka detektör:

- 2D için ≥ 170 kcps/ μ Ci/ml
- 3D için ≥ 780 kcps/ μ Ci/ml

Yarım halka detektör (3D):

- ≥ 170 kcps/ μ Ci/ml

Altı aylık testler (kabul ve referans testleri)

- **Uzaysal rezolüsyon**
- **Saçılım fraksiyonu, sayım kayıpları ve random ölçümü**
- **Sensitivite**
- **Sayım kayıpları ve random düzeltmelerinin doğruluğu**
- **Görüntü kalitesi, saçılma ve atenüasyon düzeltmelerinin doğruluğu**

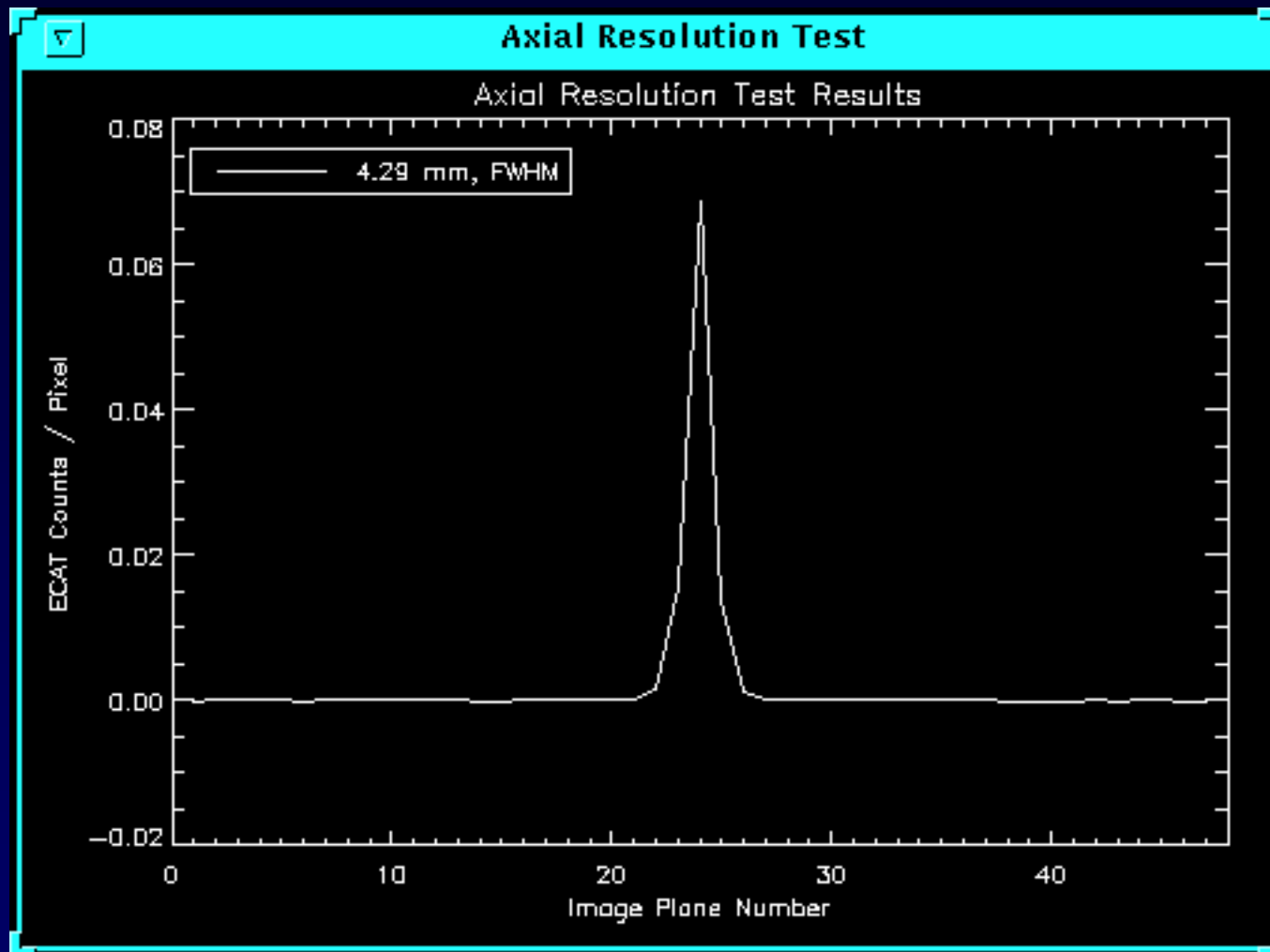
Kabul ve Referans Testleri (NEMA NU 2-2007)

1. Uzaysal Rezolüsyon

Amaç: Nokta kaynaklardan alınan görüntülerin noktasal dağılım fonksiyonlarının FWHM (full width at half maximum) ve FWTM (full width at tenth maximum)'daki tam genişliğini ölçmektir.

Yöntem:

- Havada tutulan, kapiller tüp içine konulmuş F-18 nokta kaynak
- Kaynak konumları:
 - Aksiyel yönde: Aksiyel FOV'un merkezine(1)
 - Merkezden aksiyel FOV genişliğinin 1/4 uzaklıktaki 2 noktaya (2,3)
 - Transvers yönde:
 - Vertikal ekseninde FOV merkezinden 1 cm off-set (4)
 - X=0,Y=10 (5) ve X=10,Y=0 (6)
- Her kaynak konumu için en az 100.000 sayım
- Reconstruction: Filtrelenmiş geri yansıtma (FBP)



2. Saçılım fraksiyonu, sayım kayıpları ve random ölçümü

Amaç:

- Saçılmış radyasyon, ölü zaman ve random olayların göreceli sistem duyarlılığına olan etkilerini ölçmektir.

Yöntem:

- 70 cm uzunluğunda 20 cm çapında solid yapıda silindirik fantom
- **Çizgisel kaynak:** 80 cm uzunluğunda 3.2 mm iç çapında F-18 ile doldurulmuş polietilen veya plastik tüp
- **Acquisition:** Doğru olayların sayım kayıp hızı, toplam hızın %1'inden ve random hızların, doğru olay hızlarının %1'inden daha düşük seviyeye ulaşması için geçen sürede radyonüklidin yarı ömrünün ($T_{1/2}$) yarısından daha sık aralıklarla veri toplanır. Acquisition süresi, $T_{1/2}$ 'nin dörtte birinden az olacak ve her acquisition için 500.000 prompt sayım toplanmalıdır.



3. Sensitivite



Amaç:

- Tarayıcının pozitron saptama hassasiyetini ölçmek

Yöntem:

- 3.9 - 7 - 10.2 - 13.4 - 16.6 mm iç çaplarında ve 70 cm uzunluklarında 5 adet F-18 ile doldurulmuş çubuk kaynak
- **Acquisition:** Her kaynak için kesit başına 10.000 doğru olay sayımı

4. Sayım kayıpları ve random düzeltmelerinin doğruluğu

Amaç:

- Görüntülerdeki random olaylar ve ölü zaman kayıpları için yapılan düzeltmelerin doğruluğunu ölçmek

Yöntem:

- 70 cm uzunluğunda 20 cm çapında solid yapıda silindirik fantom
- **Çizgisel kaynak:** 80 cm uzunluğunda 3.2 mm iç çapında F-18 ile doldurulmuş polietilen veya plastik tüp
- **Acquisition:** Doğru olayların sayım kayıp hızı, toplam hızın %1'inden ve random hızların, doğru olay hızlarının %1'inden daha düşük seviyeye ulaşması için geçen sürede radyonüklidin yarı ömrünün ($T_{1/2}$) yarısından daha sık aralıklarla veri toplanır. Acquisition süresi, $T_{1/2}$ 'nin dörtte birinden az olacak ve her acquisition için 500.000 prompt sayım toplanmalıdır.



5. Görüntü kalitesi, saçılım ve atenüasyon düzeltmelerinin doğruluğu

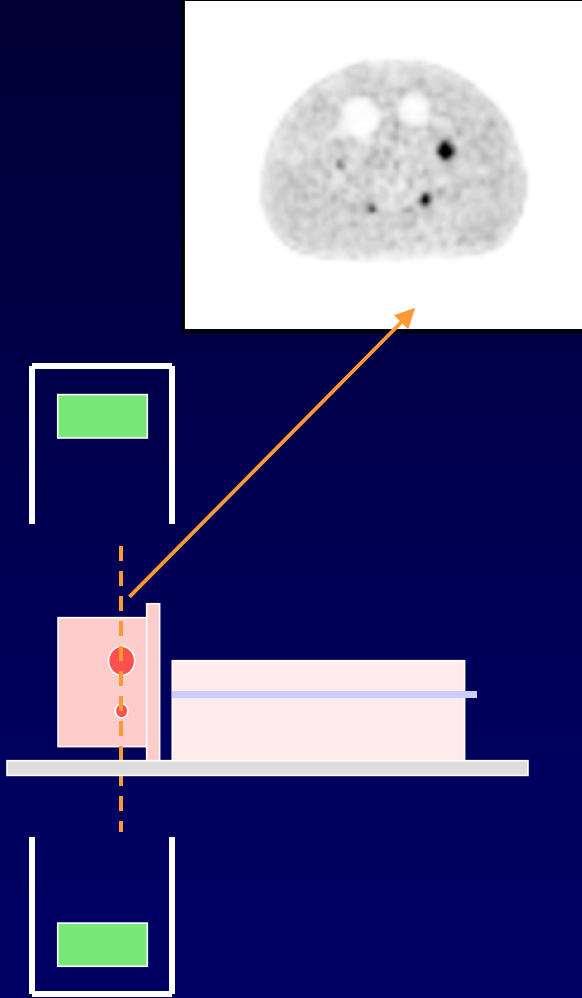
Amaç:

- Hem sıcak hem soğuk lezyonlarla, tüm vücut çalışmasında elde edilen görüntüleri simüle ederek görüntü üretmek
- Bu görüntülerden atenüasyon ve saçılım düzeltmesinin doğruluğu hesaplamak

Yöntem:

- Akciğeri simüle eden insert'i ve 6 adet doldurulabilir küresi (iç çapları 10, 13, 17, 22, 28 ve 37 mm) küresi bulunan iç uzunluğu 18 cm olan vücut fantomu
 - Vücut fantomu background aktivite konsantrasyonu $0.14 \mu\text{Ci/ml}$
 - İki büyük küre soğuk lezyon görüntüleme için suyla diğer küreler sıcak lezyon görüntüleme için background aktivite konsantrasyonunun önce 8 sonra 4 katı olacak şekilde F-18 ile doldurulur.
- 70 cm uzunluğunda solid yapıda silindirik fantom ve 3.08 mCi F-18 ile doldurulmuş çizgisel kaynağı
- Tüm vücut çalışmalarını simüle etmek amacıyla solid fantom vücut fantomunun baş kısmına yerleştirilir.





Acquicition:

- Tüm vücut görüntülemedeki şartlar dikkate alınarak 100 cm'lik aksiyel görüntüleme uzunluğu için toplam 60 dakikalık süre

Reconstruction:

- Tüm vücut görüntülemeleri için önerilen parametreler

Analiz:

- Soğuk ve sıcak lezyonlara çizilen ROI'lerden kontrast
- Background ROI'lerden standart sapma
- Atenüasyon ve saçılım düzeltmelerinin doğruluğu akciğer insert'ünün ROI'lerinden hesaplanır.

BT Sistemi kalibrasyon ve kalite kontrolleri

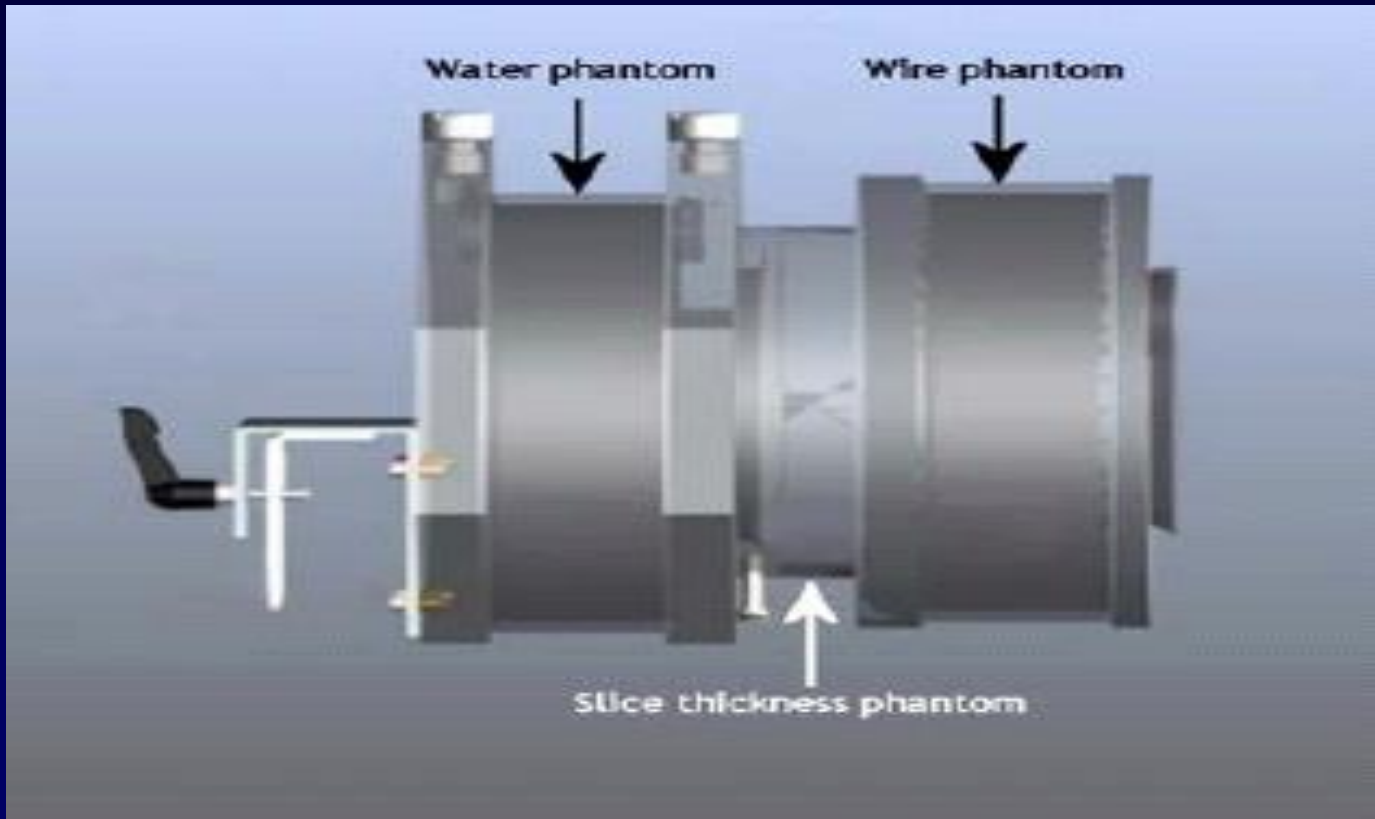
- **Günlük BT Checkup:**

Burada BT sisteminin seramik detektörleri arasındaki farklar kompanze edilir. Gantry boşken alınan çekimle hava kalibrasyonları ve tüpün ısıtılması yapılır.

- **BT Kalite Kontrol Fantomu:**

- Suyun CT değeri
- Kesit kalınlığı
- Görüntüde piksel gürültüsü

BT Kalite Kontrol Fantomu



BT fantom pozisyonlanması



Figure 14: Slice-thickness phantom in position on the PHS, prior to moving PHS into CT gantry.

PET/BT Günlük Sistem Kalite Kontrolü

- **BT Checkup ve tüp ısıtma**
- **Ge-68 silindirik fantom ile PET detektör kontrolü**
- **Ge-68 silindirik fantom kullanarak 2 yatak pozisyonlu tüm vücut görüntüsü almak.**

PET/BT Sistem Kalite Kontrolü

- PET/BT sisteminin bir amacında PET ve BT görüntülerini üst üste çakıştırmak (fusion) suretiyle lezyonların anatomik olarak yerinin saptanmasıdır.
- Fonksiyonel (PET) ve anatomik (CT) görüntülerinin tam olarak herhangi bir kayma olmadan üst üste gelmesi amaçlanır.
- İki sistem gantry'si arasındaki 5mm'ye kadar fark yapılan kalibrasyonla otomatik düzeltilir (Gantry Offset).

X-Y Kalibrasyonu (Gantry Offset)

Bir birine çapraz konumlandırılmış iki adet Ge-68 ubuk kaynak kullanılarak yapılır.

