

BRAKİTERAPİDE KALİTE KONTROL

Dr. Fiz. Nezahat OLACAK

E.Ü. Tıp Fakültesi

Radyasyon Onkolojisi AD.

	MicroSelectron V2	GammaMed+	VariSource 200/200t
Vendor	Nucletron	Varian	Varian
Sources	10 Ci of ^{192}Ir	10 Ci of ^{192}Ir	10 Ci of ^{192}Ir
Source Dimension	3.5 mm L, 1.1 mm OD	4.52 mm L, 0.9 mm OD	5 mm L, 0.59 mm OD
Source Cycle	25,000 transfers	5000 transfers	5000 transfers
Channels	18	2, 3, or 24	20
Source Extension	1500 mm	1300 mm	1500mm
Channel Length	Variable	Fixed	Variable
Source Movement	Stepping forward	Stepping backward	Stepping backward
Step sizes	2.5, 5, or 10 mm	1-10 mm, 1 mm steps	2-99 mm, 1 mm steps
Dwells steps per channel	48	60	20

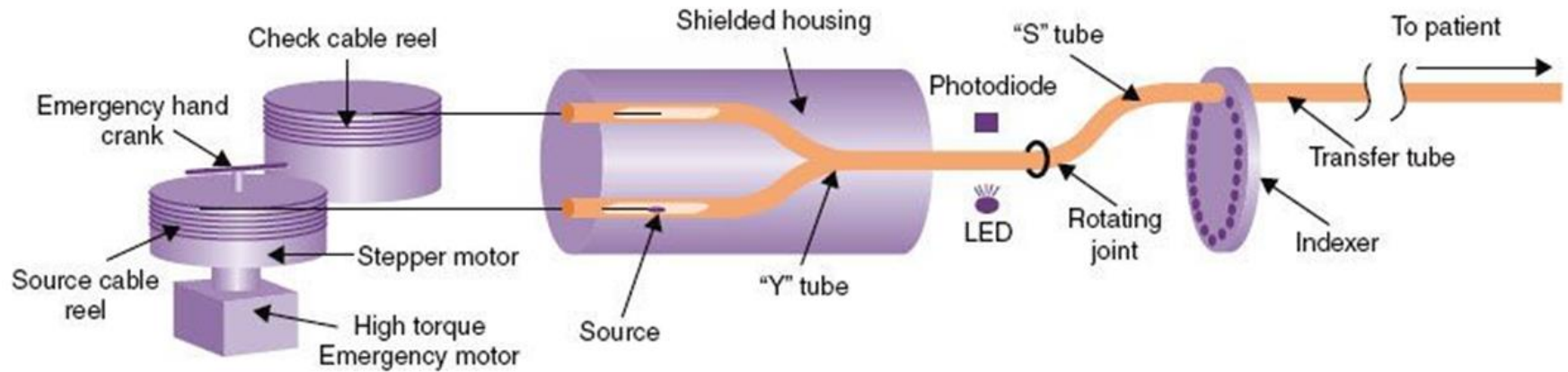


MicroSelectron (Nucletron, Elekta)



VariSource ve GammaMed (Varian)

High-Dose-Rate brakiterapi cihazının komponentleri



Tedavi uygulama hataları;

- 1. Sistematik**
- 2. Rastgele (Random)**

Sistematik Hatalar: Tedavi planlama veya tedavi cihazlarının özelliklerine ilişkin yanlış varsayımlara dayanan tedavi verim prosedürlerinin izlenmesinden kaynaklanır (bireysel karar verme veya prosedürü yerine getirememe).

Örn.

- ✓ 1.8 cm çapındaki bir aplikatörün 2 cm çapa sahip olması
- ✓ Cihazın timer'ının kaynak kalibrasyonu için kullanılan zaman standardı ile tutarlıdır. Aslında, %10 tutarsızlık olması
- ✓ 709 mm uzunluğunda transfer tüpün 712 mm uzunluğunda olması

Rastgele (Random): Bireysel hatalardan, veya cihaz arızalarından kaynaklanır.

- **Cihazın geçici arızası (tedavi cihazı, aplikatör veya planlama sistemi)**
- **Belirlenen prosedürlerin izlenmemesi veya takip ederken hata yapılması**
- **Prosedürlere uyulmamasının nedeni;**
 - ✓ **Yetersiz eğitim**
 - ✓ **Yetersiz denetim**
 - ✓ **Aşırı zaman baskısı.**

Yüksek Doz Hızlı (HDR) Uzaktan Kumandalı Brakiterapi Cihazlarında Kalite Kontrol Testleri (QA)

AAPM TG 53, 56, 59

- 1. Günlük**
- 2. Üç aylık veya kaynak değişiminde**
- 3. Yıllık**

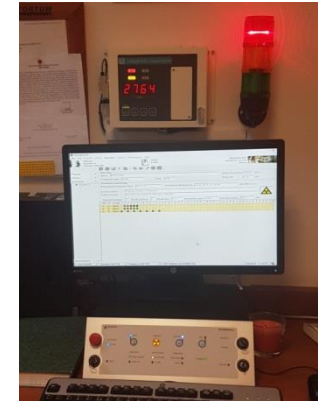
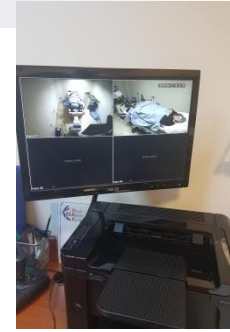
1. Günlük Kalite Kontrol Testleri

A) Hasta/halk/çalışan Güvenliği

- Kapı emniyet sistemleri**
- Radyasyon uyarı sistemleri ışıklı ve yapıştırmalı (kapı üzeri, konsol)**



- İzleme ve haberleşme sistemleri
- Radyasyon alan monitörleri
- Görsel/işitsel alarm durum göstergeleri
- Acil durum prosedürleri veya talimatları:
Acil durdurma (oda içi ve dışı) ve tedavi kesme sistemi (konsol)
- Portable survey meter (GM dedektörü)

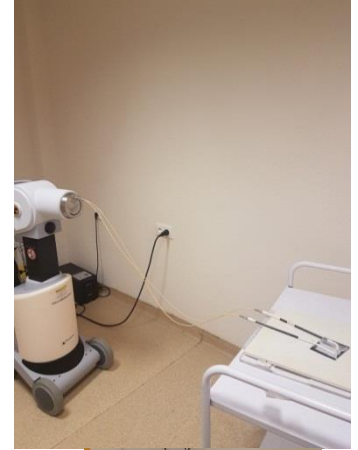
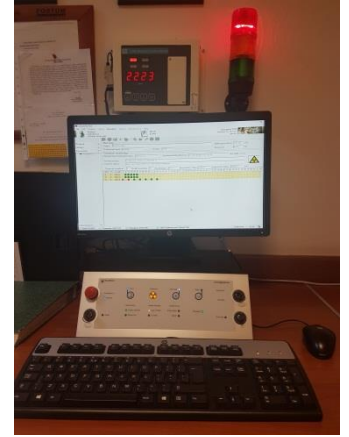


- Acil durum planı ve plana uygun acil durum ekipmanlarının kontrolü (kurşun konteyner, uzun kısıkaçlar, cerrahi malzemeler)
- Tedavi cihazı kullanım klavuzu



B. Tüm Sistem Fonksiyonlarının Kontrolü

- Herhangi bir tedavi plan simülasyonu ile;
 - ✓ Programlama kısmı
 - ✓ Kaynak çıkışı
 - ✓ Tedavi bitiminde kaynak geri çekimi (cihaza bağlı bataryaların bir elektrik kesintisi ile simülasyonu)
- Tedavi gösterge ışıkları (indikatör) ve kritik kaynak kontrol fonksiyonları (konsoldaki ve kapı üzerindeki sesli ve görsel tedavi durumu, kaynak ve kablo durumu: Kaynak takılıyor mu? bağlantı kabloları ve aplikatörlerde bağlantı sorunları var mı?)
- Tranvers tüp (kateter) bağlantı kilit sistemi



Aplikatörün diğer kontrolleri

- Aplikatörlerin, iğnelerin ve cihaza bağlantı kablolarının kullanım öncesi sağlamlılığı
 - Aplikatörlerin uygulama alanına göre doğru uzunluk ve çapları
 - Aplikatörlerin, iğnelerin kullanım sonrası durum
 - Aplikatör uygun şekilde sterilize edilmiş ve geçerli sterilizasyon tarihi.
- Mevcutsa, özel floroskopi / görüntüleme sisteminin fonksiyonlarının kontrolü



C. Verilen Dozun Doğruluğunun Kontrolü

- TPS'de ve tedavi cihazında tarih, zaman, kaynak aktivitesi ve tedavi planlama bilgileri
- Kaynak aktivitesinin ve zamanlayıcının kontrolü

Treatment Unit

Treatment unit name: mSel v3 (18)
Treatment unit type: microSelectron v3
Source: 192-Ir-mHDR-v2
Isotope: Ir-192
Air kerma rate constant (cGy cm²/h / mCi): 4.082

Calibration data

Calibration date/time: 14 Nov 2018 04:26:00
Reference air kerma rate (mGy m²/h): 53.04000
Apparent source activity (Ci): 12.89363

Treatment data

Treatment date/time: 12 Apr 2019 10:34:02
Reference air kerma rate (mGy m²/h): 13.06796
Apparent source activity (Ci): 3.20136
Interval between calibration date and time,
and treatment date and time (days): 149.21
Decay factor: 0.2464

Dose Normalization, Optimization and Prescription

Normalization type: Applicator points
F Factor: 1.000
Optimization type: Not optimized
Prescription dose per fraction/pulse (cGy): 700.00
Total Reference Air Kerma per fraction/pulse at 1 m (cGy): 0.282
Number of fractions: 2
All dose values are calculated according to the
AAPM TG-43 formalism: D(TG43)

Source Positions

Catheter (channel)	Name	Channel length (indexer length)	1	5	9	13	(pos)
1 (1)		1500.0 (mm)					.AAAAA
2 (2)		1500.0 (mm)					.AAAAA
3 (3)		1500.0 (mm)	A	A	A	A	A.A.A.A
			0	10	20	30	(mm)

Source position separation (mm): 2.5

Catheter (channel) Times

Catheter (channel)	Name	# Active positions	Channel time (sec.)
1 (1)	(Manual)	5	228.5
2 (2)	(Manual)	5	228.5
3 (3)	(Manual)	7	319.9

Total Treatment Time

Total treatment time (sec.): 776.9
% of total time given extra due to rounding off (%): 0.1

Source Coordinates and Times

Catheter 1 (channel 1) -

Offset (mm): -8.0

Position	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Dwell weight	Dwell time (sec.)
2	7.7	-1609.4	28.8	1.00	45.7
3	7.6	-1609.5	31.3	1.00	45.7
4	7.6	-1610.0	33.7	1.00	45.7
5	7.5	-1610.7	36.1	1.00	45.7
6	7.4	-1611.6	38.4	1.00	45.7

Catheter 2 (channel 2) -

Offset (mm): -8.0

Position	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Dwell weight	Dwell time (sec.)
2	30.7	-1610.0	29.6	1.00	45.7
3	30.6	-1610.4	32.1	1.00	45.7
4	30.5	-1610.9	34.5	1.00	45.7
5	30.4	-1611.6	36.9	1.00	45.7
6	30.3	-1612.6	39.2	1.00	45.7

Catheter 3 (channel 3) -

Offset (mm): -8.0

Position	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Dwell weight	Dwell time (sec.)
1	21.5	-1582.1	4.2	1.00	45.7
3	21.2	-1586.4	6.7	1.00	45.7
5	20.9	-1590.4	9.7	1.00	45.7
7	20.7	-1594.4	12.7	1.00	45.7
9	20.4	-1598.5	15.6	1.00	45.7
11	20.1	-1602.6	18.4	1.00	45.7
13	19.9	-1607.1	20.6	1.00	45.7

Applicator Points

Set Name: Applicator

Coordinate System: Applicator

Name	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Norm. Dose (%)	Abs. Dose (cGy)	Rel. Dose (%)
A1	13.0	16.5	0.0	100.00	700.00	100.00



Patient ID: A20190141

Study ID: 31949

Patient information

Patient name:	OZKAN, MUSLIME
Referring physician	
Study description	

Plan overview

Plan name	Brachy plan	
Plan type	HDR	
Plan version	1	
Plan origin	OTP V4.5.3.30	
Plan date	12-04-2019 10:51:18	
Plan modifier	KAYA, Emine	
Plan modification date	12-04-2019 11:04:35	
Applicator		
Total Reference Air Kerma	planned: 2818 uGy @ 1m (current: 2818 uGy @ 1m)	
Fraction number	1	
Total dose	1400.00 cGy	
Reference dose	700.00 cGy	
	$\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$	Ci^*
Associated source strength	13.066	3.201
Total radiation time per fraction	planned: 776.3 s / rounded: 776.9 s (current: 776.9 s)	
Nuclide	Ir-192	
	Associated	Current
Half life	73.83 days	73.83 days

System overview

System type	HDR	
TU ID	10950	
Treatment room name	EgeBraki	
Source serial number	D36P8755	

Source characteristics

Source strength	$\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$	Ci^*	Date
At calibration	38.320	9.388	18-12-2018 19:24:00
Current	13.060	3.199	12-04-2019 11:05:30
Delta		65.92 %	114d 15hr 41m 30s

* The Air Kerma Rate constant for calculating the apparent activity is $4082.0 \text{ uGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$.

D. Kaynak pozisyonu Doğruluğunun Kontrolü (Tolerans 1 mm)

- Kullanılan kaynakların istenilen pozisyona gidip gitmediği
- Tedavide kullanılan tüm aktif dwell pozisyonları
 - ✓ Mekanik cetvelle



- ✓ Otoradyografi



E. Temporal Doğruluk

- **Kaynak çıkış ışığının yanma süresi**
- **Belli bir zaman aralığındaki verimin ölçülmesi**
- **Basılı tedavi dokümantasyonundaki kaynak varış ve dönüş zamanlarını bir saat veya kronometre ile karşılaştırılması**

Tedavi Planlaması

- Yazılım sürüm numarası (software version number), kaynak kalibrasyon tarihi ve kaynak aktivitesi.
- Tedavi tarihinde dikey kaynak aktivitesi.
- Referans air kerma rate ($\text{mGy m}^2/\text{h}$)
- Air kerma rate sabiti ($\text{cGy cm}^2/\text{h/mCi}$)

Treatment Unit

Treatment unit name: mSel v3 (18)
Treatment unit type: microSelectron v3
Source: 192-Ir-mHDR-v2
Isotope: Ir-192
Air kerma rate constant ($\text{cGy cm}^2/\text{h /mCi}$): 4.082

Calibration data

Calibration date/time: 14 Nov 2018 04:26:00
Reference air kerma rate ($\text{mGy m}^2/\text{h}$): 53.04000
Apparent source activity (Ci): 12.99363

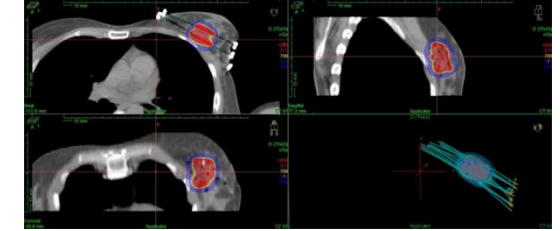
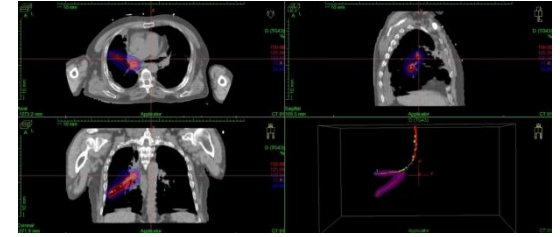
Treatment data

Treatment date/time: 12 Apr 2019 10:34:02
Reference air kerma rate ($\text{mGy m}^2/\text{h}$): 13.06796
Apparent source activity (Ci): 3.20136
Interval between calibration date and time,
and treatment date and time (days): 149.21
Decay factor: 0.2464

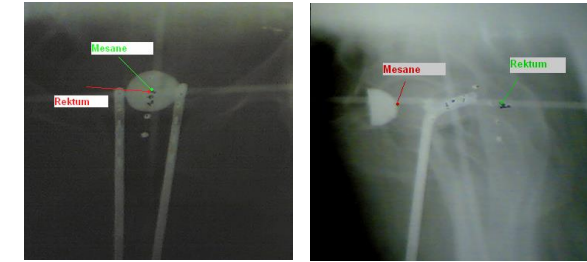
Dose Normalization, Optimization and Prescription

Normalization type: Applicator points
F Factor: 1.000
Optimization type: Not optimized
Prescription dose per fraction/pulse (cGy): 700.00
Total Reference Air Kerma per fraction/pulse at 1 m (cGy): 0.282
Number of fractions: 2
All dose values are calculated according to the
AAPM TG-43 formalism: D (TG43)

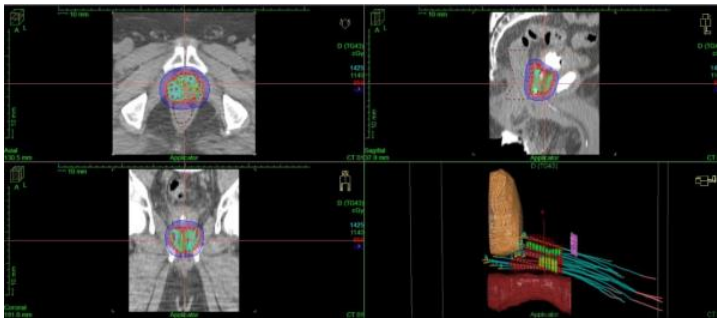
- İstenilen tüm hasta doz noktaları uygun şekilde tanımlanması ve işaretlenmesi.
- Kullanılan teknik ve kaynak modelin tanımının doğruluğu. Kaynaklar ve kaynak çizgiler arasındaki ayırım, implantın ortasındaki bir planlamasındaki kaynakların birbirleriyle ilişkisi, kıvrımlı düzlem gibi)



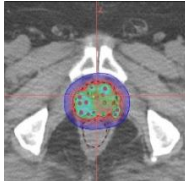
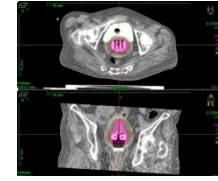
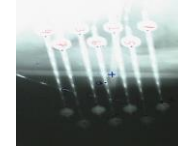
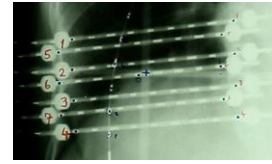
3B planlama



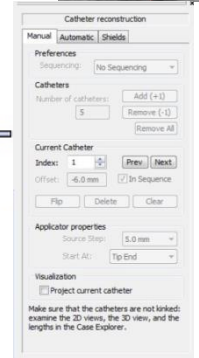
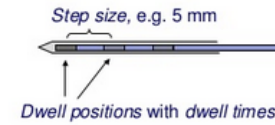
2B planlama



- Kateterlerin doğru numaralandırılması ve dwell pozisyonları



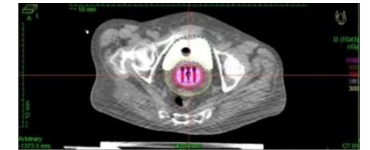
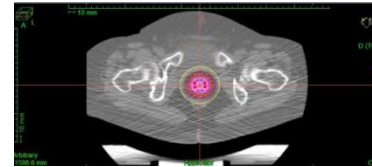
- Doğru Step boyutu seçimi (2.5 mm, 5 mm veya 10 mm)



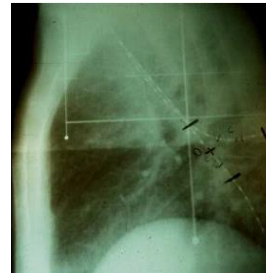
- Her kateter için doğru indexer uzunluğu

Cath.#	Ch.#	Name	Lock (HIPO)	Indexer [mm]	Offset [mm]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150						
1	3	(Manual)		1500.0	-6.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2
2	7	(Manual)		1293.0	0.0																						
3	8	(Manual)		1293.0	0.0																						
4	11	(Manual)		1293.0	0.0																						
5	12	(Manual)		1293.0	0.0																						

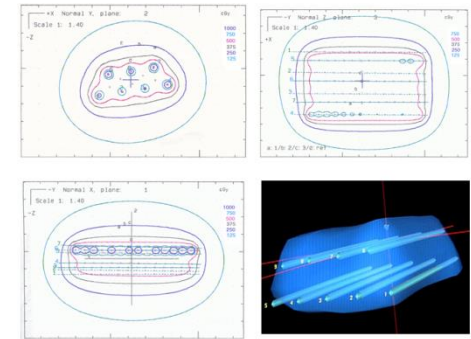
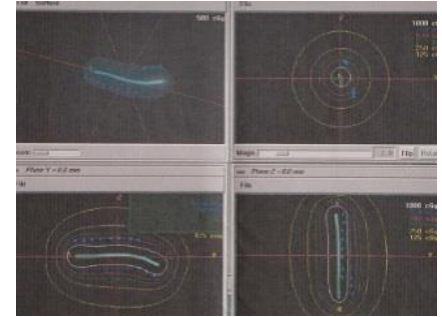
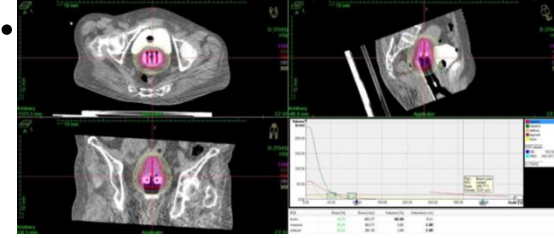
- Aplikatör nokta koordinatları



- Uygun optimizasyon

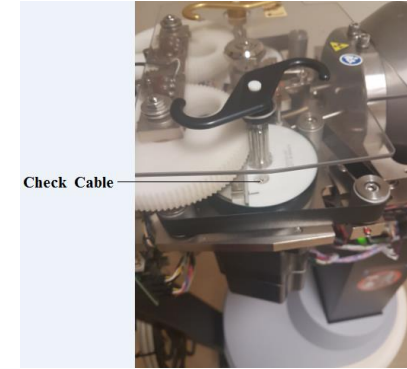


- İzodoz dağılımları, doz hacim histogramları, kalite endeksleri vb doğru değerlendirilmesi.
- Basılı çıktı üzerinde planın doğruluğu



Tedavide;

- Düzgün check cable (kılavuz tel) hareketi

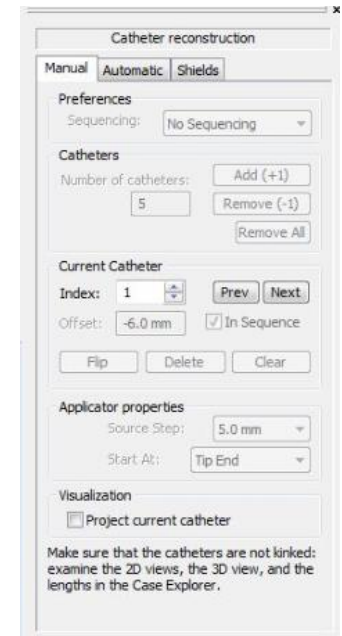


- Doğru kanal numarası

Cath.#	Ch.#	Name	Lock (HIPO)	Indexer [mm]	Offset	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150						
1	3	(Manual)		1500.0	-6.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2
2	7	(Manual)		1293.0	0.0																						
3	8	(Manual)		1293.0	0.0																						
4	11	(Manual)		1293.0	0.0																						
5	12	(Manual)		1293.0	0.0																						

- Her kateter için doğru indeksleyici uzunluğu (indexer length) ve ofset

- Günlük tedavi kaydının dosyalanması.



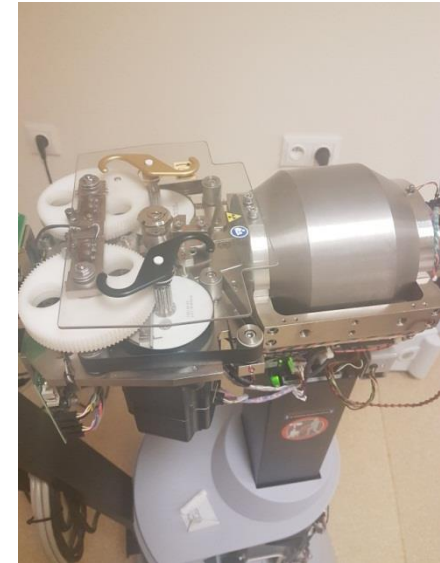
2. Üç Aylık Kalite Kontrol Testleri

A. Personel Güvenliği ve Hasta Güvenliği Kontrolü

- Kaynak takıldıktan sonra cihaz etrafında sızıntı (mR/h) < 0.25 (1m'de)
- Oda ortamındaki sızıntı radyasyonu (10 μ Sv/h)
- Önemli interloklar ve acil durum uyarı sistemlerinin (interrupt/emergency)fonksiyonları:

- ✓ Kullanılan aplikatörler, kayıp aplikatörler, aplikatör emniyet anahtarı (unlocked indexer ring), enerji/hava basıncı kaybı
- ✓ Backup batarya, radyasyon alan monitörü, kapı, tedavi cihazı ve konsolunun elektrik kesinti simülasyonu ile kontrolü

- Acil durum kaynak aktarma donanımı (acil durum konteyneri, kaynağı taşıma araçları, korumalı saklama konteynırı ve acil durum aplikatörünün sökülmesi için malzemeler) mevcut ve çalışıyor olmalı.



B. Optik ve hava basınçlı kaynak pozisyonlandırma sistemlerin kalibrasyonu

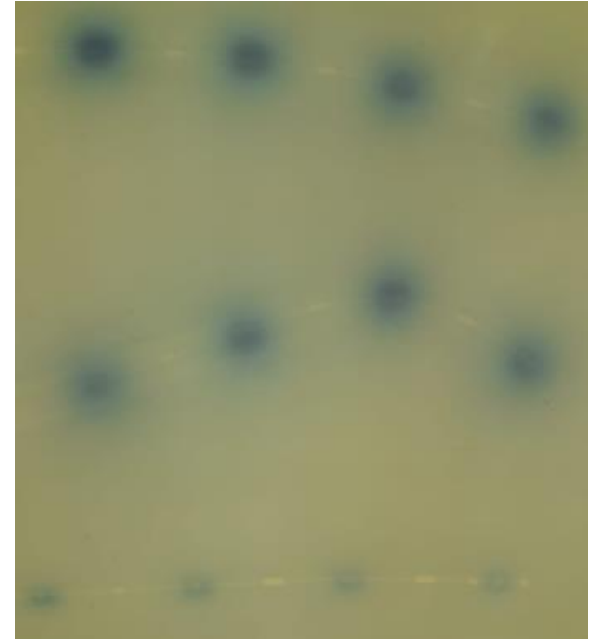
- Üretici firmanın belirlediği şekilde

C. Tüm aplikatörler, transfer tüpleri ve kaynak lokalizasyon markırları (dummy markır) doğru çalışırlığı

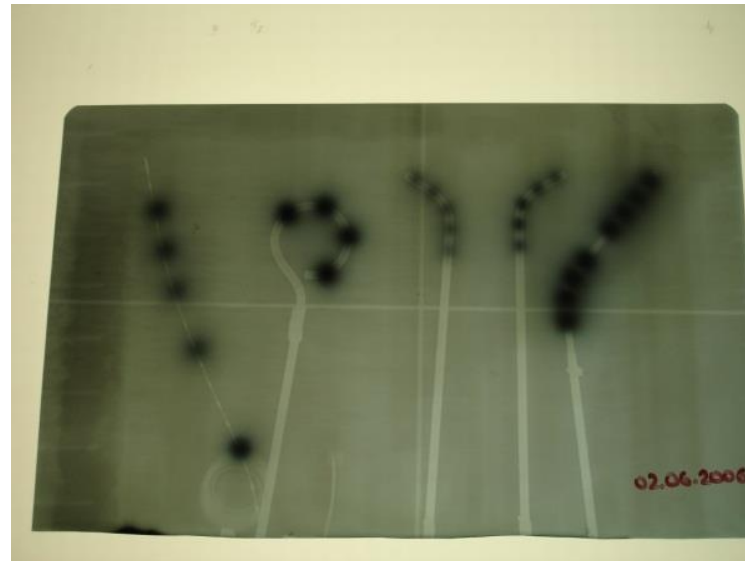
- Dummy markırların kırılma ve katlanma durumları
- Tüm aplikatör bağlantı noktalarının kontrolü (kateter ve aplikatörün bütünlüğü, aplikatör ve kateter bağlantısı)

D. Pozisyon Doğruluğunun Kontrolü

- **Kaynak pozisyonunun sahte kaynak pozisyonu ile uyumu (Tolerans 0.5 mm)**
 - ✓ **Aplikatör içerisine yerleştirilmiş sahte kaynak pozisyonları ile aynı noktalarda durdurulan kaynak pozisyonlarının otoradyografi yöntemiyle kontrolü**

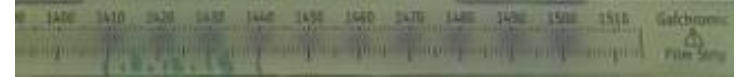
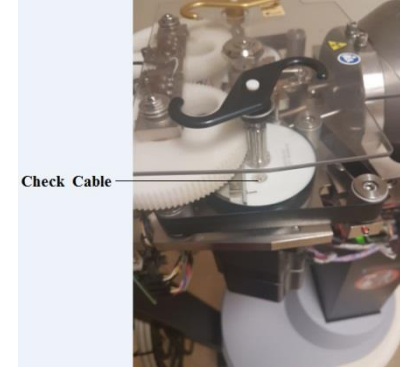


2D brakiterapi, konvansiyonel simülasyonla



- Check cable (kılavuz tel) kontrolü

- Kaynağın çoklu kanalları dolaşımının otoradyografi yöntemi ile kontrolü; kaynak duruş aralıkları indexer boyu 1mm doğruluk içerisinde olmalıdır.



- Günlük pozisyon kontrol testlerinin doğruluğunun denetlenmesi

E. Kaynağın Kaldığı Yerden Devam Edip Etmediğinin Kontrolü



F. Kaynak Kalibrasyonu

- Kaynak hava Kerma gücünün ölçülmesi
- Sertifikada belirtilenle ölçülen arasındaki fark %3

G. Timer (zamanlayıcı) tutarlılığı

H. Timer Lineerite ölçümleri (timer abselit doğruluk) (%2)

Kaynak kalibrasyonunda kullanılan kalibrasyon jig'i kullanılır. 5 s, 6 s, 10 s, 15 s, 25 s, 35 s'lik ışınlamalardaki okumalar alınır.

- $\text{Net} = \text{Okuma} - 5\text{s okuma}$
- $1\text{ s'lik net} = \text{Net} / \text{Net zaman}$
- $\text{Lineerite} = 10\text{ s'lik net zamana karşılık gelen } 1\text{ s'lik net normalize değerler.}$

Zaman Ayarı	Okuma (nC)	Net	Net Zaman	1 s'lik net	Lineerite
5 s		xx	0 s		
6 s			1 s		
10 s			5 s		
15 s			10 s		= 1
25 s			20 s		
35 s			30 s		

I. Muhtelif Testler

- TPS'deki kaynak aktivitesinin her yeni kaynak ölçümü sonrası güncelleştirilmesi

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

A; hesap anındaki aktivite, **A₀;** ilk aktivite **λ=0,693/T_{1/2}**

T_{1/2} (Ir¹⁹²) = 73.8 gün **t=süre (gün)**

Aktivite belirli aralıklarla kontrol edilecek (tolerans %0.5)

- İkinci bir fizikçinin tüm raporu denetlemesi

3. Yıllık Kalite Kontrol Testleri

A. Personel ve Hasta Güvenliği

- **Yıllık iş yükünün gözden geçirilmesi ve buna bağlı alan ve personel dozimetrisinin değerlendirilmesi**
- **Eğer binada yerleşim değişikliği ve yapı değişikliği olduysa radyasyon seviyesi denetimlerinin yenilenmesi.**

B. Verilen Dozun Kontrolü

- **Kullanılan iyon odasının kalibrasyonunun kontrolü**

C. Pozisyon Doğruluğunun Kontrolü

- **Günlük / 3 aylık pozisyon doğrulaması için kullanılan her türlü aparat**
- **Simülasyon markırlarının (dummy markır) yapısı ve aralıkları (1 mm)**
- **Tüm aplikatörler için simülasyon markırları, kaynak duruş pozisyonları**
- **Aplikatör uygunluk kontrolü**



D. Temporal (zamansal) doğruluk

- Zamanlayıcı lineerite ve absolit doğruluk
- **Transit doz/kaynak hızı**

E. İlave interlock/emergency müdahale testleri

- Cihazın bağımsız kaynak kapsülü simülasyonunu algıladığının doğrulanması
- Odadaki acil durum geri çekme düğmelerini ve manuel kaynak geri çekme krank fonksiyonunun kontrolü

- **Kaynağın aşırı sürtünme/aplikatör engellemesinde kaynağın geri çekildiğini ve acil durum geri çekme motorunun çalıştığının kontrolü.**

F. Contamination Test

- **Check cable ve aplikatörler**

G. Tedavi sırasında elektrik kesintisinden sonra sistemi değerlendirmesi

- **Kaynağın kaldığı yerden devam edip etmediğinin kontrolü**

H. Diğer Testler

- **Tedavi ünitesinin kaynak bozunmasını doğru hesapladığının kontrolü**
- **Tedavi ünitesine saklanan standart planların konfigürasyonlarının kontrolü**
- **Kalite kontrol presedürlerinin kontrolü ve gerekirse yenilenmesi**
- **Personel eğitimin gözden geçirilmesi**
- **Acil durum pratiği**

Tedavi Dozu Hesaplaması

- **ICWG formalizmine Uyum: Eğer tedavi planlama sistemi ICWG formalizmi kullanmıyorsa, karakteristik tedavilerle karşılaştırılması (commissioning %3)**
- **Kaynak gücü: Kaynak gücünün doğru bir şekilde belirlenmesi (günlük)**
- **Tedavi planı, ilk aplikasyon: Bağımsız hesaplama (%3)**
- **Tedavi planı, takip aplikasyon: Dwell times'ın kaynak bozulma ile uyumu**

TABLE VIII. Brachytherapy computer planning system quality assurance.

Function	Benchmark data	Frequency
verify geometric accuracy of I/O peripherals: digitizer, CT or ultrasound interface, and plotter.	digitize/plot pattern of known geometry; for CT/US, image and reconstruct phantom implant.	monthly
verify input parameters for all precalculated single-source arrays.	published recommendations, source vendor's mechanical drawings. initially, annually	
verify dose, dwell time, and treatment time calculations at representative points for all source files.	published dose rate tables, manual calculations.	initially, annually new software version or source identity
accuracy of single-source isodoses.	point source output.	initially, new software version
accuracy of multiple-source isodose contouring.	point source data for symmetric source arrays.	initially, new software version
accuracy of plan rotation matrix.	constancy of point doses, source positions, and isodoses under repeated orthogonal rotations for symmetric source arrays.	initially, new software version
consistency of printed plan documentation.	assumed input parameters.	every clinical use
accuracy of coordinate reconstruction.	radiograph phantom with known catheter geometry.	initially, new software version
accuracy of electronic downloading of treatment parameters of afterloader.	comparison of treatment unit and planning system printed output.	initially, new software version each treatment
dose-volume histogram/implant figures of merit.	• use isotropic point source or segment of line source allowing analytic calculation of DVH. • constancy of test case DVH.	• initially, new software version • annually
optimization software.	run series of test cases based upon idealized implant geometries of various sizes; develop a sense of what optimization does to an implant compared to uniform loading before trying it on patients.	initially, spot check when software changes by duplicating old cases
overall system test.	run series of standardized plans to globally test all clinically used features.	initially, new software version, annually



TEŞEKKÜRLER