

RADYOTERAPİDE SOLUNUM HAREKETİNİN YÖNETİMİ

Öğr. Gör. Kerem Duruer

29.03.2019



AAPM REPORT NO. 91



The Management of Respiratory Motion in Radiation Oncology

Report of AAPM Task Group 76

July 2006

DISCLAIMER: This publication is based on sources and information believed to be reliable, but the AAPM and the editors disclaim any warranty or liability based on or relating to the contents of this publication.

The AAPM does not endorse any products, manufacturers, or suppliers. Nothing in this publication should be interpreted as implying such endorsement.

© 2006 by American Association of Physicists in Medicine



Yasushi Nagata
Editor

Stereotactic Body Radiation Therapy

Principles
and Practices

Radyoterapi Esnasında Solunum Hareketinin Yarattığı Problemler

Görüntü Toplamadaki Sınırlandırmalar

Toraks ve abdominal bölgeye konvansiyonel radyoterapi teknikleri uygularken solunuma bağlı hareket dikkate alınmazsa, bu durum görüntü toplama esnasında artefaktlara neden olacaktır. Bu artefaktlar hedef hacimde bozulmaya, hatalı pozisyonlamaya ve volümetrik bilgilerde hataya neden olacaktır. Bu artefaktlar, görüntüleme esnasında görüntülenecek olan objenin farklı kısımlarının CT kesitinin içerisine ve dışarısına hareketi sonucunda oluşurlar.

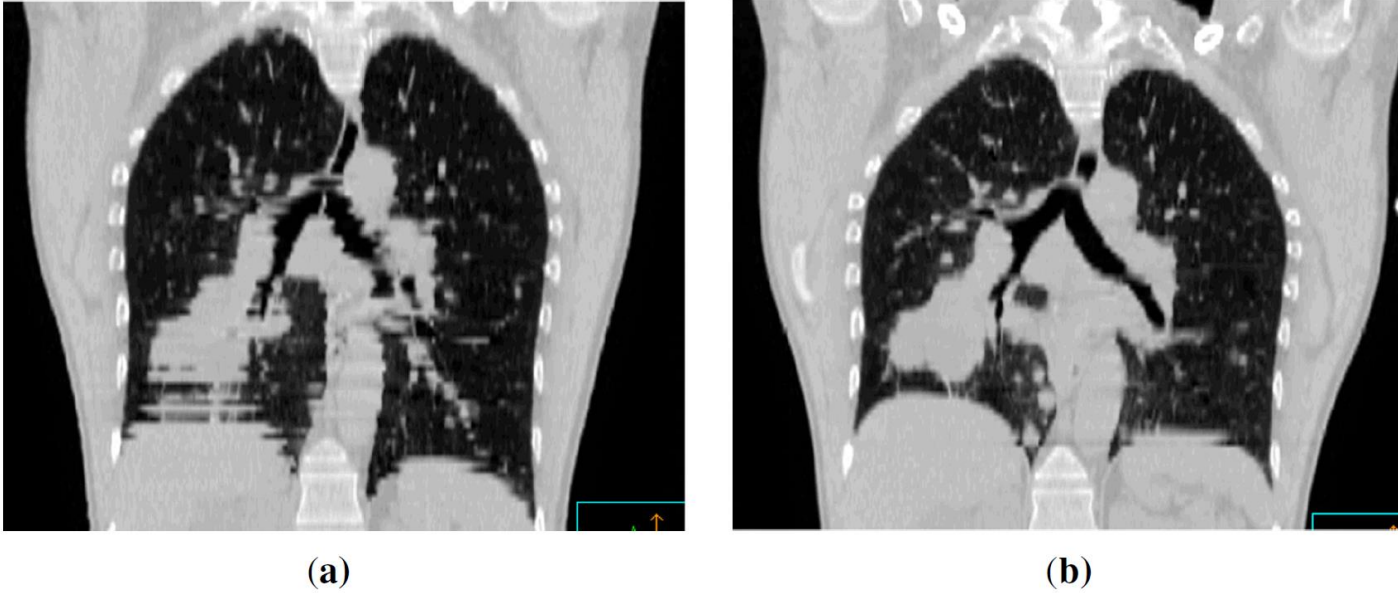


Figure 1. Coronal views of CT scans of the same patient taken during free breathing (FB) (a) and with respiratory-gated scanning at exhale (b). [Reproduced from reference 53: P. J. Keall, V. R. Kini, S. S. Vedam, and R. Mohan, "Potential radiotherapy improvements with respiratory gating," *Australas Phys Eng Sci Med* 25(1):1-6, Figure 1. © 2002, with permission from APESM.]

Radyoterapi Esnasında Solunum Hareketinin Yarattığı Problemler

Tedavi Planlamadaki Sınırlandırmalar

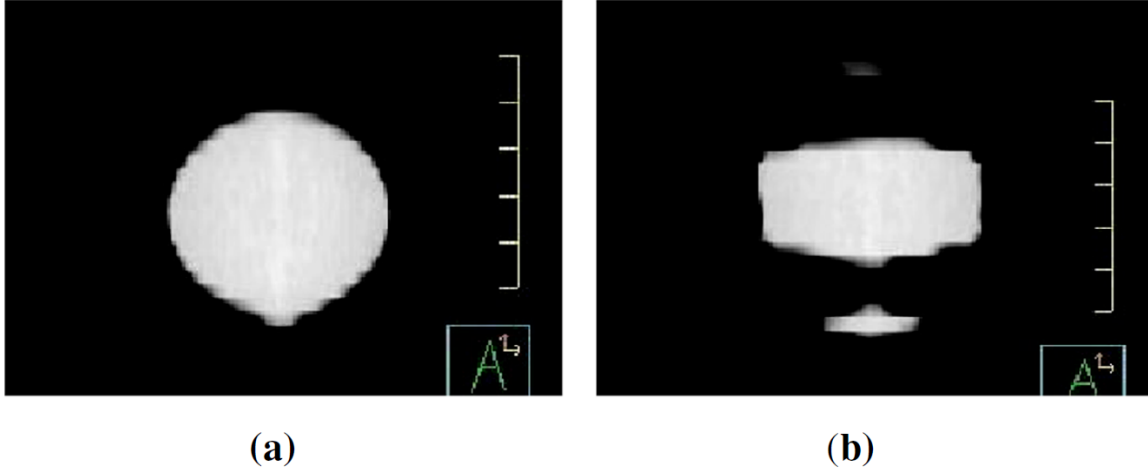


Figure 2. Coronal views of CT scans of a static sphere (a) and a sinusoidally moving sphere (b) (2-cm range of motion and a 4-second period). [Reproduced from reference 56: S. S. Vedam, P. J. Keall, V. R. Kini, H. Mostafavi, H. P. Shukla, and R. Mohan, “Acquiring a four-dimensional computed tomography dataset using an external respiratory signal,” *Phys Med Biol* 48(1):45–62, Figure 1. © 2003, with permission from IOP Publishing Limited.]

Doz Vermedeki Sınırlandırmalar

Doz verme esnasındaki intrafraksiyon organ hareketi, hareketin doğrultusu boyunca statik radyasyon doz dağılımında bir bulandırma (blurring) etkisi yaratır. Doz dağılımındaki bu yer değiştirme etkisi istenilen ve verilen doz arasında bir farka neden olur.

Solunum Hareketinin Büyüklüğü ve Ölçülmesi

Solunum Mekanizması

Solunum istemsiz olarak yapılan bir harekettir. Fakat kişiler limitler içerisinde kalacak şekilde nefeslerini tutma, solunumun frekansını değiştirme ya da solunum genliğini değiştirme gibi faaliyetleri gerçekleştirebilirler. Solunum hareketinin bir parçası olan nefes alma esnasında torasik kavitenin hacmi artarak içerisine hava dolar. Nefes almadaki en önemli kas **diyafram**dır. Normal solunumda nefes verme işlemi ise pasif bir harekettir. Akciğer ve göğüs duvarı elastiktir ve soluk verme esnasında nefes alma öncesi duruma pasif olarak kendiliğinden geri dönerler.

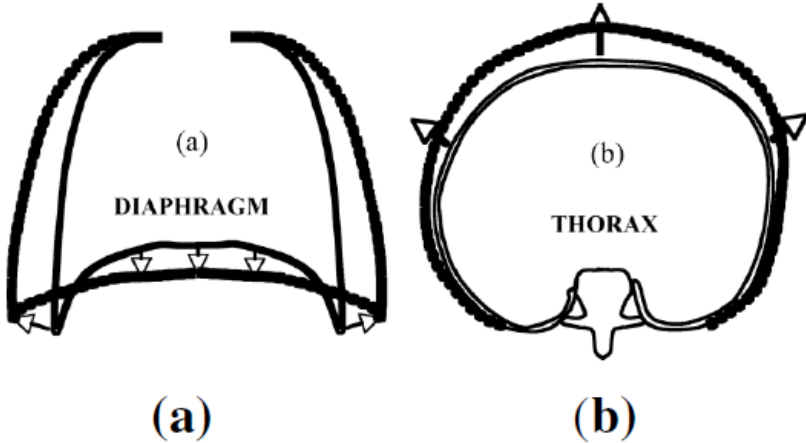
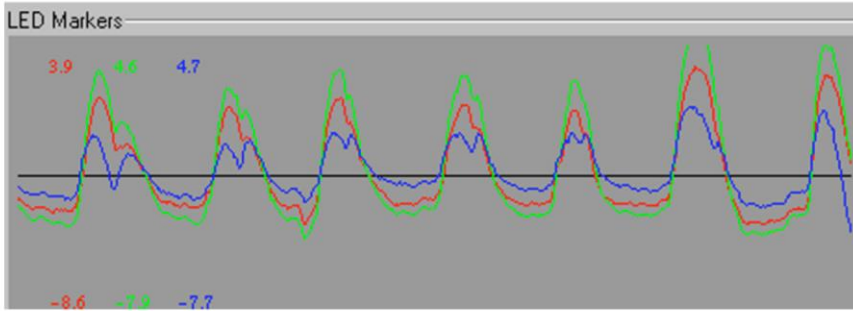


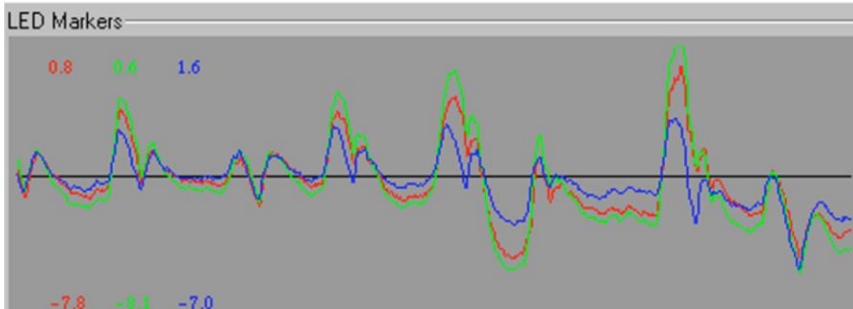
Figure 3. (a) During inhalation, the diaphragm contracts, the abdomen is forced down and forward, and the rib cage is lifted. (b) The intercostal muscles also contract to pull and rotate the ribs, resulting in increasing both the lateral and anterior–posterior (AP) diameters of the thorax. [Reproduced from reference 226: J. B. West, *Respiratory Physiology: The Essentials*, Figures 3a,3b. © 1974, with permission from Lippincott Williams, and Wilkins.]

Solunum Hareketinin Ölçülmesi

Akciğerler, özefagus, karaciğer, pankreas, meme, prostat ve böbreklerin solunum ile hareket ettikleri bilinir. Hastaların solunum paternleri genlik, frekans ve düzenlilik açısından görüntüleme ya da tedavi esnasında değişim gösterebilir.



(a)



(b)

Figure 4. Variations in respiratory patterns from the same patient taken a few minutes apart. The three curves in each plot correspond to infrared reflector measured patient surface motion in the SI, AP, and ML directions, with each component arbitrarily normalized. In (a), the motion pattern is relatively reproducible in shape, displacement magnitude, and pattern. In (b), the trace is so irregular that it is difficult to distinguish any respiratory pattern. [Figure courtesy of Dr. Sonja Dieterich.]

Solunum Hareketinin Büyüklüğü ve Ölçülmesi

Çalışmalar

Table 1. Measurement techniques.

Site	Technique					
	CT	MRI	Fluoroscopy	Ultrasound	Nuclear imaging	EPID
Pancreas				Suramo et al. ⁷⁴ Bryan et al. ⁷⁵		
Liver		Korin et al. ⁷⁹		Suramo et al. ⁷⁴ Davies et al. ⁶	Weiss et al. ⁸⁹ Harauz et al. ⁹⁰	
Kidney				Suramo et al. ⁷⁴ Davies et al. ⁶		
Diaphragm	Giraud et al. ⁷⁸	Korin et al. ⁷⁹	Wade et al. ⁸⁰ Ford et al. ⁸⁶ Minohara et al. ⁸	Davies et al. ⁶⁸		
Prostate			Malone et al. ²			
Lung	Ross et al. ⁷⁶ Hanley et al. ⁷⁷ Shimizu et al. ⁵⁵ Essapen et al. ²¹⁹ Stevens et al. ⁶⁶ Sixel et al. ⁹² Grills et al. ⁹¹	Plathow et al. ²²⁰	Kubo et al. ³⁶ Ekberg et al. ²⁶ Shirato et al. ²²¹ Murphy et al. ⁸³ Chen et al. ⁸⁴ Engelsman et al. ²⁸ Barnes et al. ⁸⁵ Shimizu et al. ⁵² Murphy et al. ⁸⁷ Seppenwoolde et al. ⁶⁷ Ozhasoglu et al. ⁸⁸			Erridge et al. ¹⁰¹
Breast						van Tienhoven et al. ³⁵

CT: computed tomography; EPID: electronic portal imaging device; MRI: magnetic resonance imaging.

Solunum Hareketinin Büyüklüğü ve Ölçülmesi

Çalışmalar

Table 2. Lung tumor–motion data. The mean range of motion and the (minimum–maximum) ranges in millimeters for each cohort of subjects. The motion is in three dimensions (SI, AP, LR).

Observer	Direction		
	SI	AP	LR
Barnes ⁸⁵ : Lower lobe	18.5 (9–32)	--	--
Middle, upper lobe	7.5 (2–11)	--	--
Chen et al. ⁸⁴	(0–50)	--	--
Ekberg et al. ²⁶	3.9 (0–12)	2.4 (0–5)	2.4 (0–5)
Engelsman et al. ²⁸ :			
Middle/upper lobe	(2–6)	--	--
Lower lobe	(2–9)	--	--
Erridge et al. ¹⁰¹	12.5 (6–34)	9.4 (5–22)	7.3 (3–12)
Ross ⁷⁶ : Upper lobe	--	1 (0–5)	1 (0–3)
Middle lobe	--	0	9 (0–16)
Lower lobe	--	1 (0–4)	10.5 (0–13)
Grills et al. ⁹¹	(2–30)	(0–10)	(0–6)
Hanley et al. ⁷⁷	12 (1–20)	5 (0–13)	1 (0–1)
Murphy et al. ⁸⁷	7 (2–15)	--	--
Plathow ²²⁰ : Lower lobe	9.5 (4.5–16.4)	6.1 (2.5–9.8)	6.0 (2.9–9.8)
Middle lobe	7.2 (4.3–10.2)	4.3 (1.9–7.5)	4.3 (1.5–7.1)
Upper lobe	4.3 (2.6–7.1)	2.8 (1.2–5.1)	3.4 (1.3–5.3)
Seppenwoolde et al. ⁶⁷	5.8 (0–25)	2.5 (0–8)	1.5 (0–3)
Shimizu et al. ⁵²	--	6.4 (2–24)	--
Sixel et al. ⁹²	(0–13)	(0–5)	(0–4)
Stevens et al. ⁶⁶	4.5 (0–22)	--	--

AP: anterior–posterior; LR: left–right; SI: superior–inferior.

Çalışmalar

Table 3. Abdominal motion data. The mean range of motion and the (minimum–maximum) ranges in millimeters for each site and each cohort of subjects. The motion is in the superior–inferior (SI) direction.

Site	Observer	Breathing mode	
		Shallow	Deep
Pancreas	Suramo et al. ⁷⁴	20 (10–30)	43 (20–80)
	Bryan et al. ⁷⁵	20 (0–35)	--
Liver	Weiss et al. ⁸⁹	13 +/- 5	--
	Harauz et al. ⁹⁰	14	--
	Suramo et al. ⁷⁴	25 (10–40)	55 (30–80)
Kidney	Davies et al. ⁶⁸	10 (5–17)	37 (21–57)
	Suramo et al. ⁷⁴	19 (10–40)	40 (20–70)
	Davies et al. ⁶⁸	11 (5–16)	--
Diaphragm	Wade ⁸⁰	17	101
	Korin et al. ⁷⁹	13	39
	Davies et al. ⁶⁸	12 (7–28)	43 (25–57)
	Weiss et al. ⁸⁹	13 +/- 5	--
	Giraud et al. ⁷⁸	--	35 (3–95)
	Ford et al. ⁸⁶	20 (13–31)	--



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



Radyoterapideki solunuma bağlı hareketin etkisini azaltmaya yarayan metodlar genel olarak 5 kategoriye ayrılırlar.

1. Hareketi kapsayan yöntemler
2. Solunum takip yöntemleri
3. Nefes tutma teknikleri
4. Derin olmayan nefese zorlama teknikleri
5. Solunum ile senkronize teknikler

Table 5. Summary of intra- and interfractional variations for different methods of respiratory management. [Reproduced from reference 222: S. Mageras, E. Yorke, and S. Jiang, “4D IMRT delivery” in *Image-guided IMRT*, T. Bortfeld, R.K. Schmidt-Ullrich, W. DeNeve et al. (eds.), Table 1, pp. 269–285. © 2005, with permission from Springer-Verlag.]

Reference	Technique	Organ	Intrafraction variation (cm)	Interfraction variation (cm)
Cheung et al. ²²³	BH at inspiration with ABC	Lung tumor	--	SD: 0.18 LR, 0.23 AP, 0.35 SI
Dawson et al. ²²⁴	BH at exhale with ABC	Diaphragm	SD: 0.25	SD: 0.44
Ford et al. ⁸⁶	Gating at exhale with RPM	Diaphragm	Mean: 0.26 SD: 0.17	Mean: 0.0 SD: 0.39
Hanley et al. ⁷⁷	DIBH	Diaphragm	SD: 0.25	--
Mah et al. ¹⁸⁰	DIBH	Diaphragm	--	0.4*
Negoro et al. ¹⁹¹	Abdominal compression with stereotactic body frame	Lung tumor	Mean 3D: 0.7 Range: 0.2-1.1	Mean 3D: 0.5* Range: 0.4-0.8*
Remouchamps et al. ²²⁵	mDIBH with ABC	Diaphragm	Mean: 0.14 SD: 0.17	Mean: 0.19 SD: 0.22
Wagman et al. ¹⁵⁶	Gating at exhale with RPM	Abdominal organs	Mean: 0.20	--

* includes setup error; ABC: active breathing control; AP: anterior-posterior; BH: breath-hold; DIBH: deep inspiration breath-hold; LR: left-right; mDIBH: moderately deep inspiration breath-hold SD: standard deviation; SI: superior-inferior; 3-D: 3-dimensional error.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



Radyoterapideki Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

A. Hareketi Kapsayan Yöntemler

1. Yavaş CT
2. Soluk Alma-Verme Esnasında Nefes Tutma CT'si
3. 4D-CT

B. Solunum Takip Metotları

C. Nefes Tutma Metotları

1. Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))
2. Self-Held Breath-Hold with Respiratory Monitoring
3. Diğer Yaklaşımlar

D. Abdominal Baskı ile Zayıf Nefes Sistemi (FSB)

E. Gerçek Zamanlı Tümör Takibi



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



A- Hareketi Kapsayan Yöntemler

1-Giriş

CT görüntülemesi için tüm solunum boyunca tümörün hareketini hesaba katabilen 3 teknik mevcuttur.

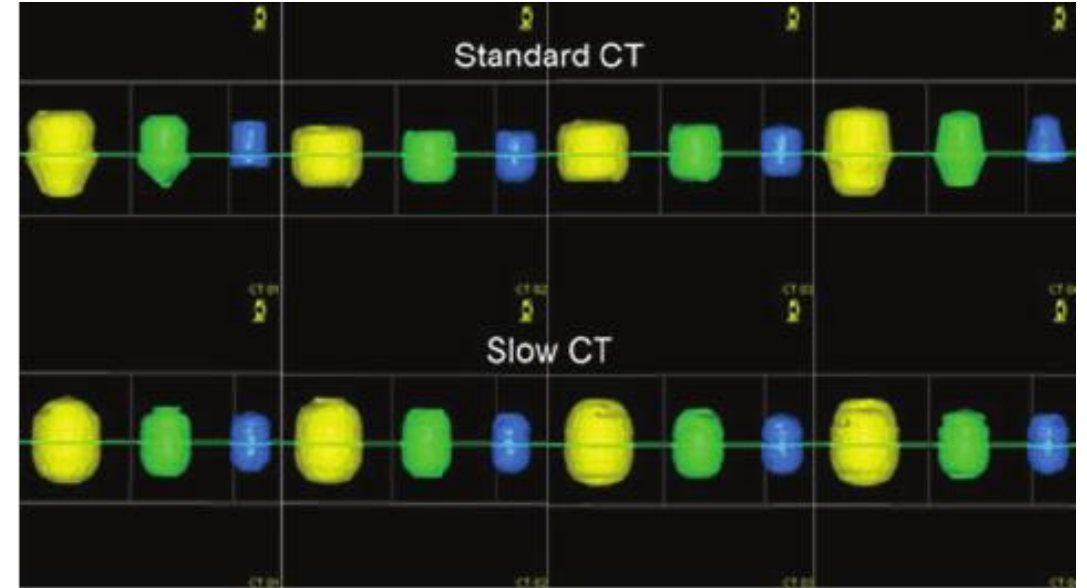
1. Yavaş CT
 2. Nefes alma ve nefes vermede nefes tutma CT'si
 3. 4 boyutlu (4D) CT
- Bu listenin sıralaması artan iş yüküne göredir.
 - Eğer bu yöntemlerin kullanılmasında CT dozunun azaltılması ile ilgili herhangi bir çaba gösterilmezse, CT'deki radyasyon dozları **2 ile 15 kat** arasında artış gösterebilir.

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

A- Hareketi Kapsayan Yöntemler

2- Yavaş CT

- **Periferik akciğer tümörleri** için CT çözümlerinden bir tanesi yavaş CT'dir. Yavaş tarama metodunda, CT tarayıcı çok yavaş bir şekilde hareket eder ve çoklu CT taramalarının ortalaması çoklu solunum fazlarında her bir kesit için kaydedilir.
- Yavaş CT taraması çoğu CT için var olan bir özelliktir ve dolayısıyla bu metot kullanımı en mümkün olan yöntemdir.
- Tüm yapı taranırken, geçen zaman boyunca tümörün görüntüsü tüm nefes döngüleri boyunca elde edilir.
- Yavaş CT çekiminde tek bir CT taraması elde edilir ve serbest solunum CT taramasının kullanıldığı durumdan komplekslik açısından bir farkı yoktur.
- **Yavaş CT'nin dezavantajı, hareketin neden olduğu bulandırma etkisi nedeniyle rezolüsyonun azalmasıdır. Bu da tümör ya da normal dokuların çizilmesinde hatalara neden olabilir.**
- **Bulanıklık etkisinden dolayı, bu yöntem sadece mediastinel ya da göğüs duvarını içermeyen akciğer tümörleri için kullanılmalıdır. Aynı zamanda (örn: karaciğer, pankreas ve böbrek gibi) bölgelerde de kullanılmaması tavsiye edilir.**



Images of three-dimensional (3D) outlines produced using standard CT, top four images, and slow CT, lower four



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



A- Hareketi Kapsayan Yöntemler

3- Soluk Alma-Verme Esnasında Nefes Tutma CT'si

Hastanın CT simülasyonu esnasında pek çok klinikte tümör hareketini kapsayan yöntem olarak, hem nefes alma hem de nefes verme takipli ya da derin nefes tutma CT çekimleri uygulanmıştır. Hem nefes verme hem de nefes alma CT'lerinin çekilmesi CT çekim süresini iki katına çıkarmaktadır ve hastanın nefes tutma yeteneğinin tekrarlanabilirliğine bağlıdır.

İki tane tarama elde edilir ve bundan dolayı füzyon ve ekstra kontürlenme işlemleri gereklidir. Akciğer tümörleri için (mediastinal tümör tutulumu olmaması koşuluyla), pek çok görüntüleme sisteminde bulunan **maksimum yoğunluk projeksiyonu (MIP)** tümör hareketini kapsayan volümün belirlenmesinde kullanılabilir.

Bu yaklaşımın yavaş CT yöntemine olan üstünlüğü, serbest solunumda oluşan bulanıklaşma etkisinin bu yöntemde ciddi oranda azaltılmış olmasıdır.

Doz hesaplaması her bir hasta için en uygun olan CT setinde yapılmaz. Örneğin nefes verme CT'si için hastalar genellikle nefes verirken nefes alırken oranla daha uzun zaman geçirirler. Nefes verme taramasında akciğer hacmi küçümsenir ve bundan dolayı da belli bir dozu alan akciğer hacimini abartma eğiliminde olacaktır.

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

A- Hareketi Kapsayan Yöntemler

4- 4DCT

Solunum hareketinin varlığında yüksek kaliteli CT verilerini elde etmek için umut verici bir çözüm **4DCT**'dir. Dört boyutlu data ortalama tümör pozisyonunu belirlemede, tedavi planlaması için tümörün hareket menzilini belirlemede ve tümörün diğer organlar ile olan hareket ilişkisini belirlemede kullanılabilir. Solunum düzenindeki değişikliklerden etkilenmesi 4DCT'nin sınırlamalarından bir tanesidir. Bunun solunum antrenman teknikleri geliştirilmiş olsa da artefaktlar gözlemlenmektedir.

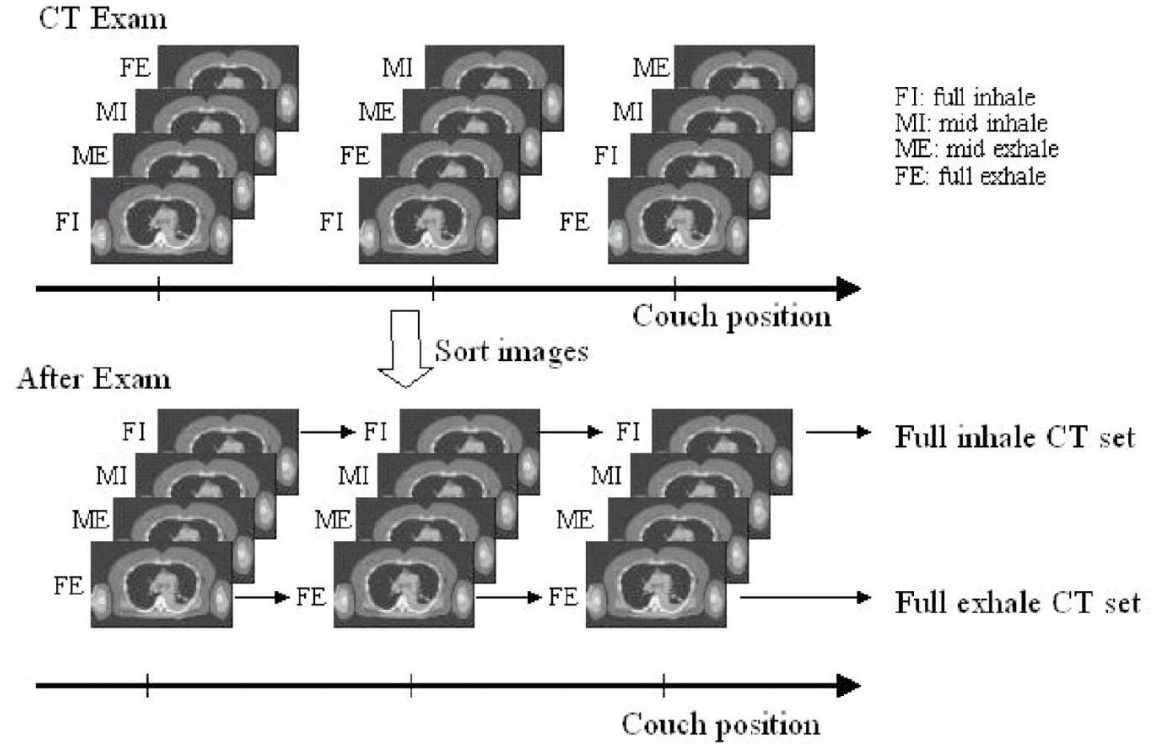
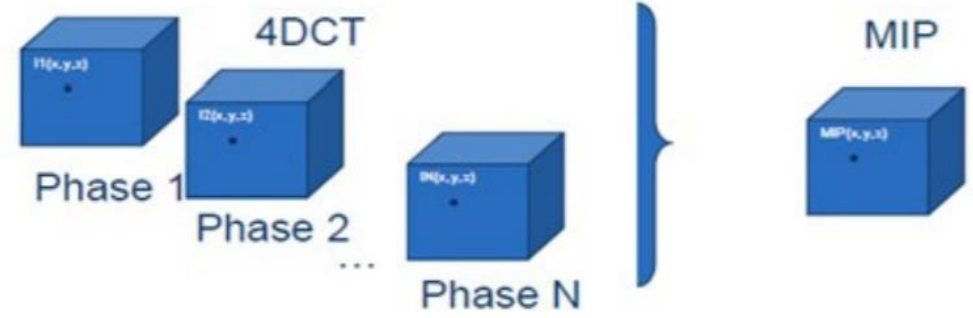
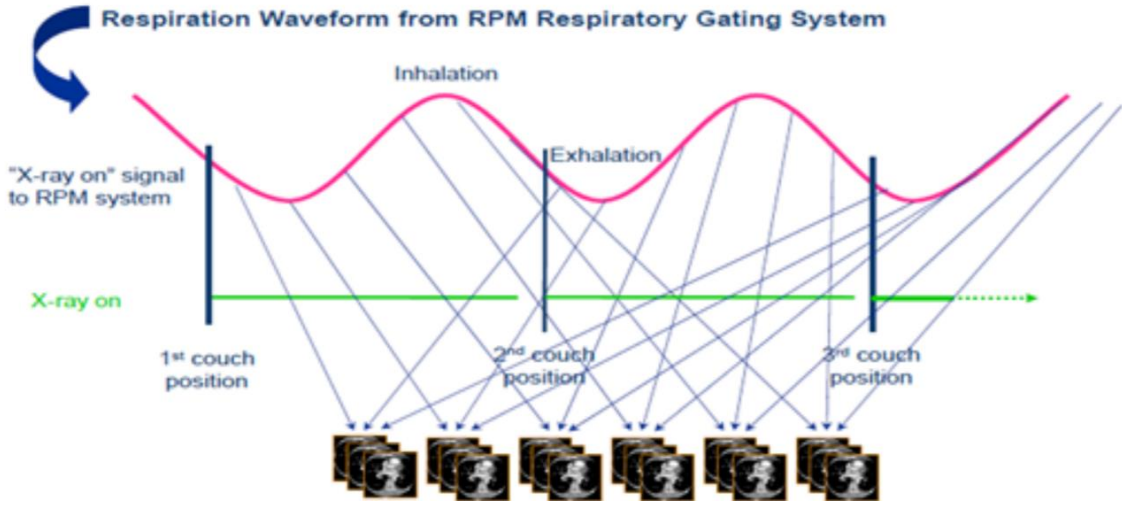


Figure 6. A schematic of the 4-D CT process using ciné acquisition. Images are acquired at each couch position for many respiratory phases. The image acquisition is time synchronized with the respiratory signal acquisition, allowing all images of a particular stage of the respiratory cycle to be concatenated into a complete 3-D CT image. All of the phases put together make up a 4-D CT data set. [Figure courtesy Dr. Sonja Dieterich.]

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

4- 4DCT



$$MIP(x, y, z) = \max(I_i(x, y, z)), i \in [1, N]$$



Infrared kamera tarafından örneklenen hasta solunumuna göre sisteme girilen değerlerden sonra CT hızı ve masa pozisyonları otomatik olarak sistem tarafından oluşturulur. Çekim başlatılınca her bir masa pozisyonundaki görüntüler BT tarafından otomatik olarak alınır. Çekilen görüntüler bir ara yüz yardımı ile işlenerek, her bir masa pozisyonunda **aynı solunum periyoduna denk gelen görüntüler** birleştirilerek değişik fazlar oluşturulur. Son olarak oluşturulan bu fazlardan tümörün ortalama, minimum ve maksimum bulunacağı pozisyonlarını veren görüntü setleri oluşturulur. Bu görüntü demetleri CTave, CTMin ve CTMip olarak adlandırılır. Oluşturulan bu görüntü setlerinden ICRU 62 'deki tanımlamalara göre ITV (Internal Target Volume) oluşturularak bu volüm plan yapılacak CT setine taşınır (M. Günhan,2016).

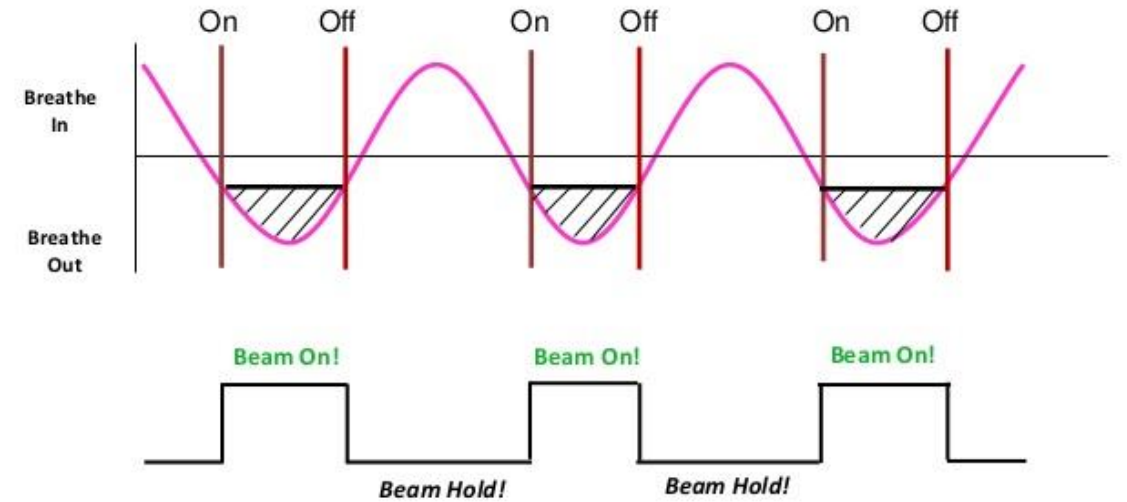
Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

1- Giriş

Solunum takibi kısaca, hastanın solunum döngüsünün içerisinde belli kısımlarda hem görüntüleme hem de tedavide radyasyonun yönetilmesidir. Bu belli kısımlara genel olarak Gate (Geçit) denir. Bu geçitlerin yeri ve genişliği, hastanın solunum döngüsünün eksternal solunum sinyallerinin alınması ya da internal fiducial markerların görüntülenmesi ile gerçekleştirilir.

Phase Gating Example



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

1- Giriş

Solunum hareketi, solunum sinyalinin bir parçası veya dahili anatominin hareketi olarak kaydedilen iki değişkenle karakterize edilebilir. Bu değişkenler yer değiştirme (**genlik**) ve **fazdır**.

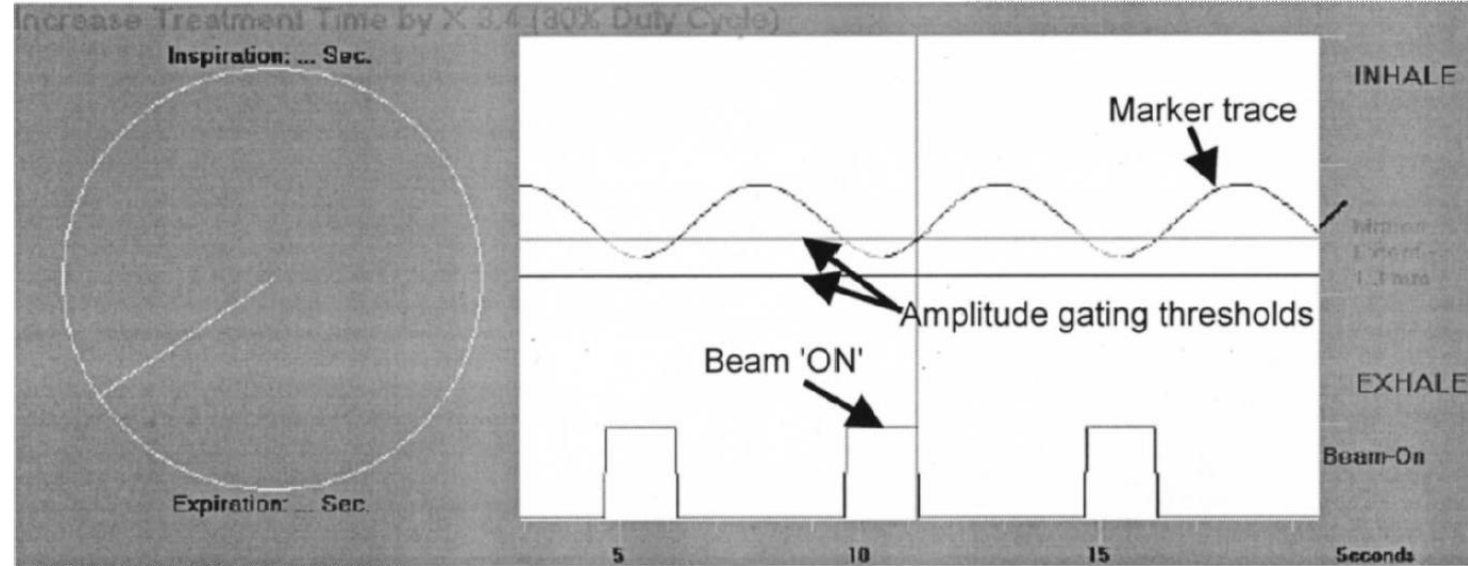


Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

1- Giriş

Geniliğe bağlı olarak yapılan solunum takibinde solunum sinyalinde önceden tanımlanmış olan genlik aralıklarında radyasyon aktive edilir ve görüntüleme gerçekleştirilir.

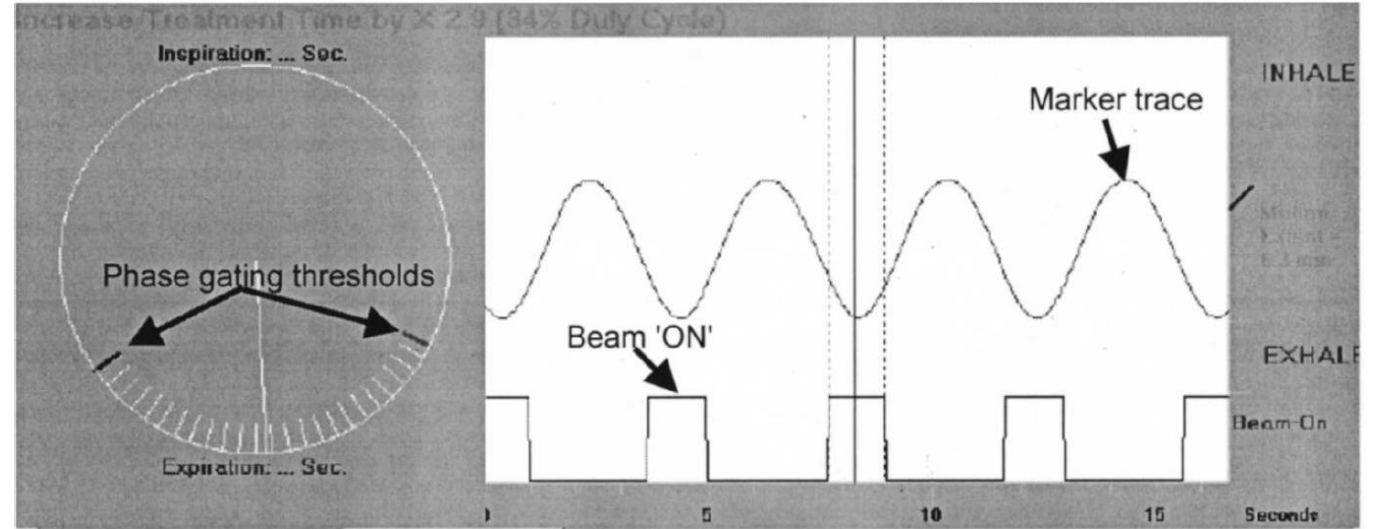


Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

1- Giriş

Faza bağlı olarak yapılan solunum takibinde solunum sinyali periyodik bir yapı sergilemelidir. Komple bir solunum sinyali 0 ile 2π aralığındaki açılar ile temsil edilmektedir. Faza bağlı olarak yapılan solunum takibinde radyasyon önceden belirlenmiş faz aralığında aktive edilir.



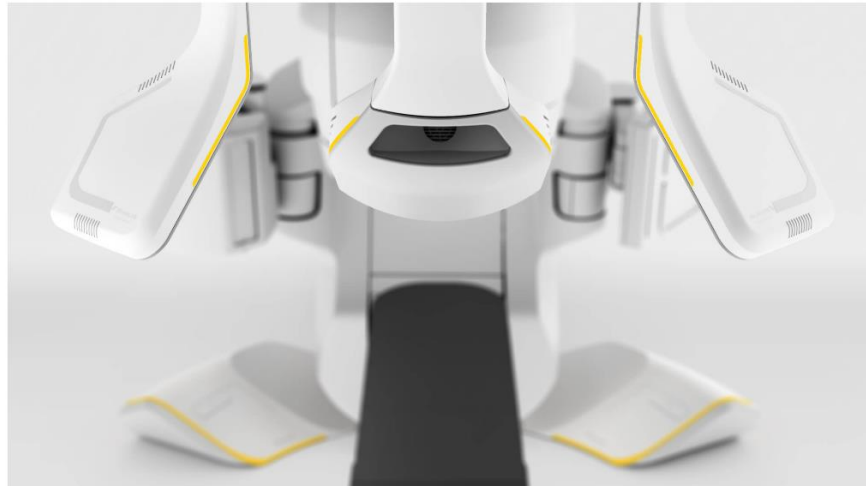
Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

2- Eksternal Solunum Sinyali Kullanarak Solunum Takibi

Piyasada bulunan Eksternal solunum sinyali kullanan solunum takip sistemleri.

- Varian Real-time Position Management™ (RPM) Respiratory Gating
- BrainLab ExacTrac Gating/Novalis Gating
- Siemens Medical Systems (Anzai Kemerini ile Birlikte)



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

2- Eksternal Solunum Sinyali Kullanarak Solunum Takibi

Hasta Seçimi

Non-invaziv bir yapıya sahip olmasından dolayı, bu sistemler yaklaşık olarak hastaların %90'ına uygulanabilir. Pek çok vakada nefes antrenmanlarının yapılması oldukça faydalı olacaktır ve hastanın simülasyon seansını tamamlamasında yardımcı olacaktır.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

2- Eksternal Solunum Sinyali Kullanarak Solunum Takibi

CT Simülasyon

Varian solunum takip sisteminde, harici fiducial marker olarak görev yapan infrared ışınlarını yansıtan bir plastik kutu kullanılır ve bu kutu umbilicus ile xyphoid processin ortasına denk gelecek şekilde anteriyör abdominal yüzeyinin üzerine koyulur. Tam olarak gerçek pozisyonun seçilmesi hareketin maksimum olduğu yüzeye yerleştirme ile yapılır.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

2- Eksternal Solunum Sinyali Kullanarak Solunum Takibi

CT Simülasyon

Kutu yaklaşık olarak yüzeye paralel bir şekilde yerleştirilmelidir ki bu sayede oda içerisinde bulunan kamera bu kutu üzerinde bulunan infrared yansıtıcıları dedekte edebilsin. Eğer konkav şekilli bir abdomene sahip ya da eğimli bir toraksa sahip hasta gelirse, bu durumda standart lokasyonun superiyor ya da inferiyörüne kaydırma yapmak gerekebilir.



Flat



Rounded



Scaphoid



Protuberant

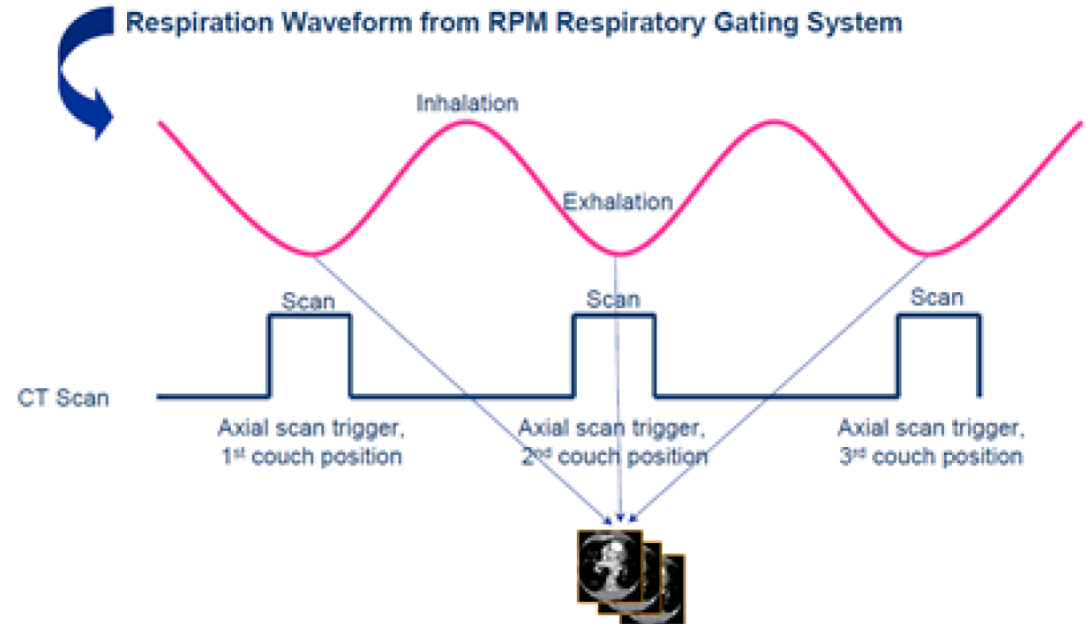
Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

2- Eksternal Solunum Sinyali Kullanarak Solunum Takibi

CT Simülasyon

Eksternal solunum sinyalinin gözlenmesi ile birlikte, gating parametreleri (genlik aralığı, faz aralığı vs.) belirlenir. **Prospektif gated CT'de**, CT kesitlerini elde edebilmek amacıyla, solunum takip sistemi tarafından her bir solunum döngüsünde CT'ye triger sinyalleri gönderilir. CT tarama parametreleri (kesit kalınlığı, tarayıcı dönüş zamanı, indeks vs.) standart CT çekimlerinde kullanıldığı haliyle aynı kalır. CT görüntüsünün tam anlamıyla gated olmadığı sadece tetikleyici tarafından başlatıldığı unutulmamalıdır.



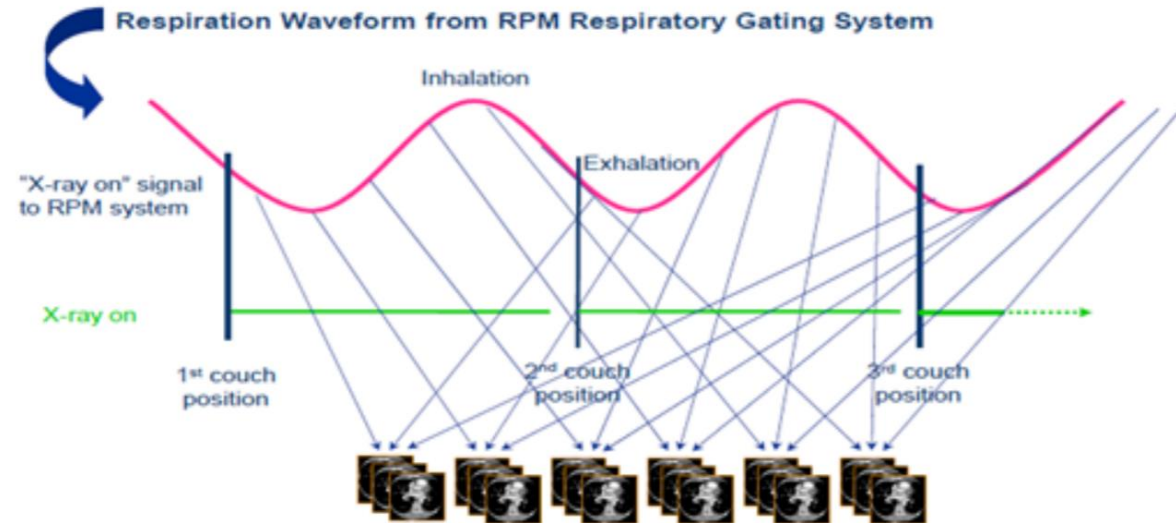
Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

B- Solunum Takip Metotları

2- Eksternal Solunum Sinyali Kullanarak Solunum Takibi

CT Simülasyon

Retrospektif Görüntü Elde Edilmesinde; CT sürekli olarak görüntü alır, tarama en az 1 solunum döngüsünde ve her bir masa pozisyonunda gerçekleşir. Görüntülerin toplanmasını takiben, CT imaj seti RPM referans dosyası ile senkronize olur. Solunum döngüsündeki uygun faz değerlerine göre görüntüler sıralanır ve sonrasında da tedavi için optimum faz değeri belirlenir.





Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



B- Solunum Takip Metotları

2- Eksternal Solunum Sinyali Kullanarak Solunum Takibi

Tedavi

Hasta setup'ında infrared yansıtıcı kutu aynı simülasyonda olduğu gibi hastanın üzerine yerleştirilir ve hastanın rahat edip normal bir şekilde soluk alıp vermesi konusunda bilgilendirilir. Bir kere normal solunum döngüsü elde edilip gating sınırları doğrulandığında radyasyon verme işlemi başlatılır.

Her ne kadar piyasadaki sistemler radyasyon verme ve durdurma işlemlerini otomatik yapsalar da, radyoterapi teknikeri sistem monitöründeki görsel ipuçları dikkatle takip etmeli ve eğer hastanın solunum döngüsü simülasyondakinden farklı olduğu bir durum oluşturursa araya girmeye hazır olmalıdır.

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

1- Giriş

Nefes tutma metotları daha çok akciğer kanserleri için kullanılıyor olsa da **meme kanseri radyoterapisinde** de oldukça ilgi çekici bir opsiyon olabilirler. Normal solunumdaki intrafraksiyon hareketi küçük olsa da, **nefes alma esnasında (inspiration)** diyafram kası kalbi memeden posteriyor ve inferior yönde çeker ve böylece potansiyel olarak kalp ve akciğer toksitesi azalır.



"I want you to take a deep breath and hold it till I've left the room."

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

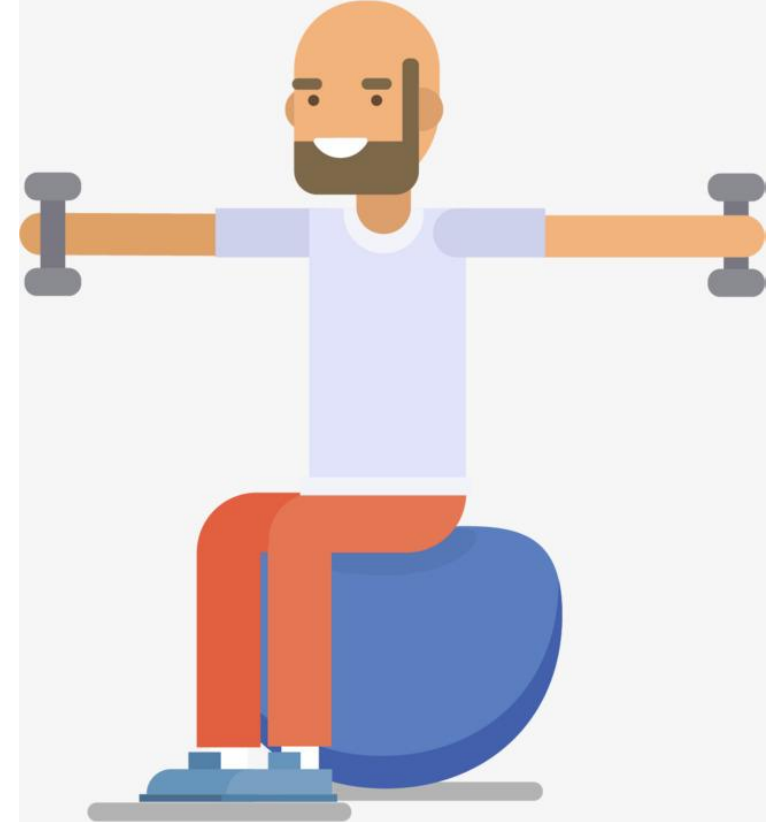
C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))

a) Giriş



Maksimum tekrarlanabilir nefes tutma durumu (DIBH), torasik tümörlerin tedavisinde avantaj yaratabilir çünkü, bu durum solunuma bağlı tümör hareketini büyük ölçüde azaltır ve genellikle anatomiye sağlam dokuları koruyacak şekilde değiştirir. Bu teknik sözlü olarak hastanın derin nefes alma durumundaki nefes tutması için koçluk yapmayı ve hastanın bu açıdan antrenman yapmasını gerektirir.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))

a) Giriş

Hasta, bir ağızlık ve esnek bir boru aracılığıyla spirometreye bağlı olarak nefes alır. Burun delikleri tıkaçlar ile kapatılmıştır. Pnömatik spirometre hava akışını ölçen bir cihazdır. Bir bilgisayar programı buradan nefes alıp verme ile geçen havanın oluşturduğu basınç farkını sinyale çevirir ve geçen zamanla birlikte bu sinyal kayıt edilerek ekranda görseli oluşturulur.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))



Normal Solunum

Nefes Tutma-Görüntü Alma

Nefes Bırakma

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))

b) Hasta Seçimi

Derin nefes tutma yöntemi hasta uygunluğu açısından sınırlıdır. Memorial Sloan-Kettering Cancer Center (MSKCC)'de akciğer kanseri hastaların %60'ı bu yöntemi **başaramamıştır**. Derin nefes tutma yönteminin görelî olarak hastaya bağılı olmasından dolayı bu yöntem bu merkezde sadece bu tekniğe uygun olan hastalarda akciğerlerinin şişirilmesi ile normal solunumdan daha yüksek dozlara çıkılabilecek olanlara uygulanmıştır.

Hastanın spirometre cihazına alışması, bu yöntemin bu hastada tekrarlanabilirliğinin görülmesi ve başlangıç sınır değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla antrenmanlara simülasyondan **birkaç gün önce** başlanmıştır.





Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))

c) Simülasyon

Kısa bir nefes tutma antrenmanından sonra hastaya tedavi pozisyonunda 3 tane tomografi çekilir.

1. Normal nefes alma ve verme
 2. Spirometre ile derin nefes tutma
 3. Spirometre ile nefes tutma
- Normal nefes alıp-verme ve nefes tutma CT'leri QA amaçlı
 - Eğer hasta bu tekniği başarı ile tamamlayamazsa normal nefes alıp verme CT'si alternatif olarak tedavi plan CT'si olarak kullanılabilir
 - Tüm simülasyon aşamaları (immobilizasyon, izomerkez seçimi, 3 CT çekimi, CT çekimleri arası dinlenme) yaklaşık **2 saat** sürmekte



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))

d) Tedavi

- Tedavi esnasında ışın sadece nefes tutma seviyesi aşıldığında verilmiş ve nefes tutma seviyesinin altında kalındığında ışın kesilmiş
- Statik konformal tedavilerde (2 Gy/fr, 500-600 MU/dak) her bir alan için genellikle tek bir nefes tutma alanının bitirilmesi için yeterli olmuş
- Sliding window IMRT'de hastalarda derin nefes tutma tekniğini denenmiş ve tedavi süreleri normal nefes alıp verme tedavilerine oranla yaklaşık 5-10 dakika daha uzun sürmüştür.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))

e) Çalışmalar

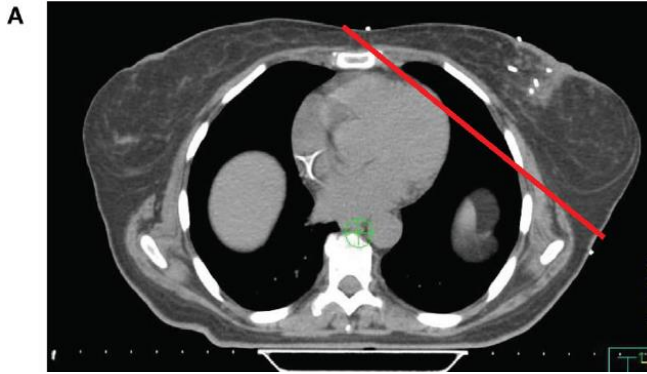
- Memorial Sloan-Kettering Cancer Center (MSKCC)' da 45 hasta bu teknik ile tedavi edilmiş (44 tanesi küçük hücre dışı akciğer kanseri).
- Rosenzweig yaptı çalışmada ortalama akciğer hacminin normal nefes alıp verme durumundakine oranla **1,9 kat** arttığını gözlemlemiştir.
- Işınlanan akciğerin hacminin miktarı radyasyon pnömonisinin dozimetrik belirteçlerinden biri olduğu için, bu tekniğin uygulanması aynı toksitenin elde edileceği durumda daha yüksek dozlara çıkılmasına imkan verecektir.

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

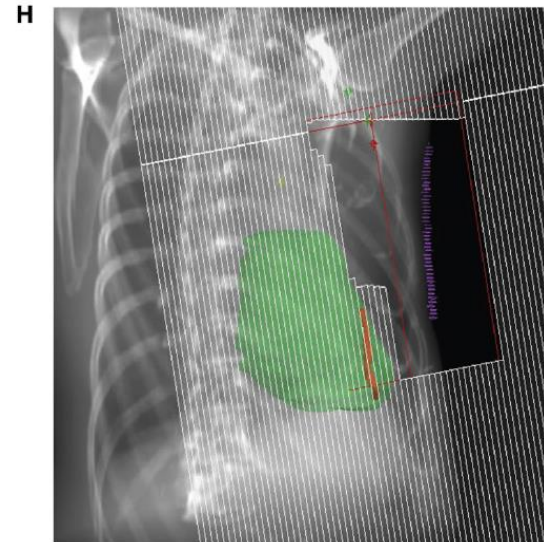
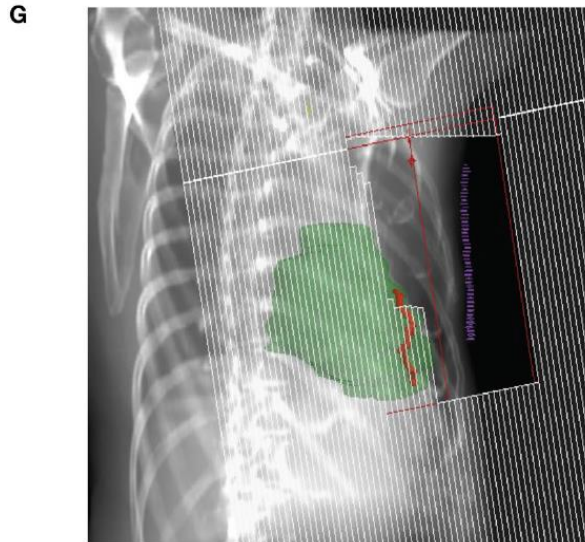
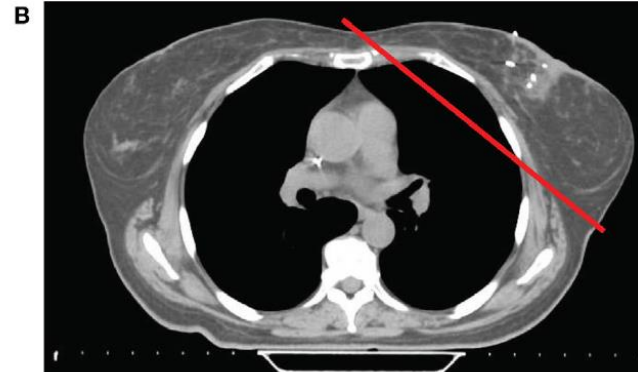
C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))

Serbest Nefes



DIBH





Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin

Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

2- Derin Nefes Almadaki Nefes Tutma (deep-inspiration breath-hold (DIBH))



TABLE 1 | Reduction of mean LAD and heart doses in studies examining free breathing versus DIBH techniques for breast cancer radiation treatment.

Study	DIBH method	# Patients	Area(s) treated	Mean LAD dose (Gy)			Mean heart dose (Gy)		
				FB	DIBH	Reduction	FB	DIBH	Reduction
Stranzl and Zurl (33)	voluntary DIBH (vDIBH) (RPM)	22	Breast/CW ± boost	–	–	–	2.3	1.2	44%
Stranzl et al. (34)	vDIBH (RPM)	11	Breast/CW + IMC LN	–	–	–	4.0	2.5	38%
Borst et al. (35)	vDIBH (other)	19	Breast/CW ± boost	11.4	5.5	52%	5.1	1.7	67%
Johansen et al. (36)	vDIBH (RPM)	16	Breast	–	–	–	6.5	2.5	62%
McIntosh et al. (37)	vDIBH (RPM)	10	Breast	Not reported	Not reported	43%	Not reported	Not reported	48%
Vikstrom et al. (38)	vDIBH (RPM)	17	Breast	18.1	6.4	65%	3.7	1.7	54%
Hayden et al. (39)	vDIBH (RPM)	30	Breast + boost	33.7	21.9	35% ^a	6.9	4.0	42%
Hjelstuen et al. (40)	vDIBH (RPM)	17	Breast + SCV + Ax + IMC LN	25.0	10.9	56%	6.2	3.1	50%
Wang et al. (41)	ABC	20	Breast	20.0	5.9	71%	3.2	1.3	59%
Bruzzaniti et al. (42)	vDIBH (RPM)	8	Breast	9.0	2.7	70%	1.7	1.2	29%
Lee et al. (43)	vDIBH (RPM)	25	Breast	26.3	16.0	39%	4.5	2.5	44%
Mast et al. (44)	ABC	20	Breast	18.6	9.6	48% ^a	3.3	1.8	45% ^a
				14.9	6.7	55% ^b	2.7	1.5	44% ^b
Nissen and Appelt (45)	ABC	227 ^c	Breast/CW ± SCV + Ax LN	–	–	–	5.2	2.7	48%
Reardon et al. (46)	vDIBH (RPM)	10	Breast	2.5	1.8	29% ^f	1.6	0.9	45% ^f
Swanson et al. (47)	ABC	87	Breast/CW ± SCV + Ax LN	–	–	–	4.2	2.5	40%
Bolukbasi et al. (48)	vDIBH (RPM)	10	Breast	1.7	0.8	53% ^a	1.7	0.7	59% ^a
		10		5.0	4.0	20% ^b	4.9	3.7	25% ^b
Comsa et al. (49)	ABC	20	Breast ± boost	–	–	–	3.1	1.2	61%
		30	Breast/CW + SCV + Ax LN	–	–	–	4.5	2.1	53%
Osman et al. (50)	vDIBH (RPM)	13	Breast + SCV + Ax + IMC LN	–	–	–	9.0	5.0	44% ^a
				–	–	–	5.8	4.1	29% ^b
Verhoeven et al. (27)	vDIBH (RPM)	17	Breast	30.9	22.4	28%	3.5	1.6	54%
Eldredge-Hindy et al. (51)	ABC	86	Breast ± boost ± SCV + Ax ± IMC LN	–	–	–	2.7	0.9	67% ^d
Joo et al. (52)	vDIBH (RPM)	32	Breast/CW ± SCV + Ax	40.8	23.7	42%	7.2	2.8	61%
Mulliez et al. (28)	vDIBH (RPM)	12	Breast	17.6	10.9	38%	4.0	2.2	45%
Rochet et al. (53)	vDIBH (other)	35	Breast/CW ± SCV + Ax + IMC LN	14.9	4.0	73%	2.5	0.9	64%
Tanguturi et al. (54)	vDIBH (AlignRT)	146	Breast/CW ± SCV + Ax ± IMC LN	–	–	–	2.6	1.4	46%
Wiant et al. (55)	vDIBH (other)	25	Breast	–	–	–	3.0	1.4	53%
Yeung et al. (56)	vDIBH (other)	20	Breast/CW ± SCV + Ax + IMC LN	13.6	4.1	70%	2.6	1.3	50%
Walston et al. (57)	vDIBH (AlignRT)	7	Breast ± boost	–	–	–	1.3	0.9	31%
		8	CW ± boost ± SCV + Ax + IMC LN	–	–	–	5.1	3.6	29%
Lawler and Leech (58)	RPM	28	Breast/CW ± SCV	10.9	5.2	52%	1.8	1.2	33%
Kunheri et al. (59)	ABC	45	Breast	13.2	6.1	54%	3.1	1.6	52%
Mohamad et al. (60)	ABC	22	Breast/CW + SCV + Ax + IMC LN	21.3	9.4	56%	5.8	2.2	62%

ABC, active breathing coordinator; Ax, axillary; CW, chest wall; DIBH, deep inspiration breath hold; Gy (gray); FB, free breathing; IMC, internal mammary chain; LAD, left anterior descending coronary artery; LN, lymph nodes; RPM, real-time positioning management system; SCV, supraclavicular; IMRT, Intensity modulated radiation therapy.

^a3D conformal radiation therapy.

^bIMRT/VMAT.

^c227 left-sided (144 received DIBH; 83 received FB treatment).

^dMedian values for mean doses.

^eLAD planning organ at risk volume (PRV).

^fFB-IMRT versus 3D-DIBH.

^gFB versus DIBH forward-planned IMRT.

^hFB versus DIBH inverse-planned IMRT.

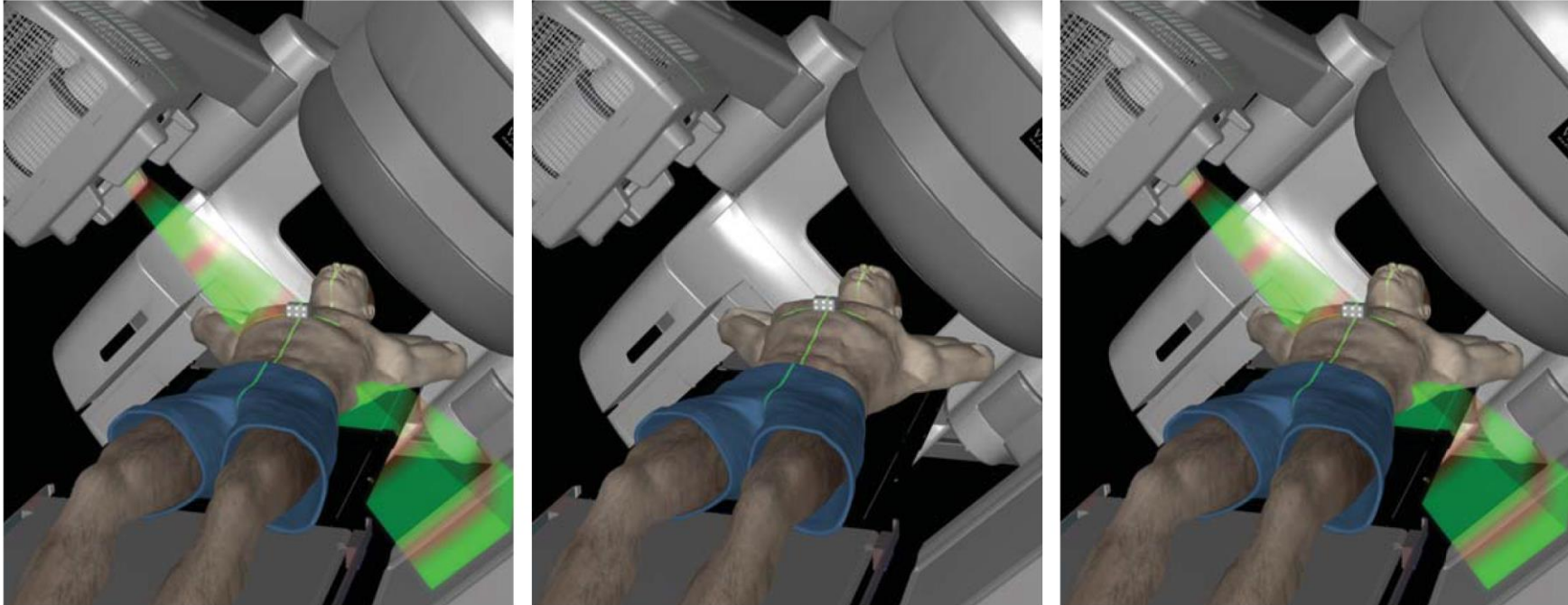
Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

3- Self-Held Breath-Hold with Respiratory Monitoring

a) Giriş

- Bu teknik piyasada olan Varian RPM (Real-time Position Management™ System(RPM)) sisteminde kullanılabilmektedir ve hastanın solunumunu görüntüleyip doz verme işlemi kontrol eder. Fakat solunum döngüsünün belli bir yerinde hastanın istemli olarak nefesini tutmasını gerektirir.





Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



C- Nefes Tutma Metotları

3- Self-Held Breath-Hold with Respiratory Monitoring

a) Giriş

- Bu yöntemin avantajı simülasyonda ve tedavide serbest solunum ile yapılan takiplere oranla daha efektif olmasıdır çünkü nefes tutma esnasında radyasyon verme işlemi sürekli olarak devam etmektedir. Diğer bir avantajı ise hastanın solunumu sürekli olarak görüntülenmektedir ve daha önceden belirlenmiş olan nefes tutma bölgesinin dışına çıkılması durumunda ışınlama otomatik olarak kesilmektedir.

b) Hasta Seçimi

- Konsültasyon esnasında hastanın nefesini 10 sn'lik periyotlarla tutup tutamayacağı test edilir. Hastaların aynı zamanda sözel olarak kendilerine verilecek olan solunum direktiflerini anlama ve tedavilerine aktif olarak katılma kapasiteleri olmalıdır. Hastalar sonrasında simülasyon öncesinde de değerlendirilirler.

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

3- Self-Held Breath-Hold with Respiratory Monitoring

c) CT-Simülasyon

- Önceden programlanmış (nefes al, nefes ver, nefesini tut) gibi sesli komutlar nefes tutmayla birlikte CT'de senkronize edilir. Hastanın kapasitesine bağlı olarak hasta nefes vermede 7-15 saniyelik periyotlarla nefesini tutar. CT görüntüleri helikal tarama modunda toplanır. Her tarama segmentinin sonunda CT taramasına 20 sn'lik ara verilir. Sonrasında tarama işlemi diğer segmentlerinde görüntüleri alınacak şekilde otomatik olarak devam eder.
- CT'deki tekniker RPM sistemindeki solunum izini takip eder bu izin önceden belirlenmiş olan aralıkta kaldığından emin olur. Eğer hasta nefes tutma yönlendirmelerine uyum sağlayamazsa hastaya tekrardan bir bilgilendirme yapılır ve bu işlemler tekrarlanır.



RPM software runs on the PC workstation. RPM workstations are networked to a multi-user gating database.

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

3- Self-Held Breath-Hold with Respiratory Monitoring

d) Tedavi

- Tedavi öncesinde portal görüntüleme ile hastanın pozisyon doğrulaması yapılır ve solunum aralıkları test edilir. Nefesini tut talimatını takiben, önceden belirlenmiş solunum aralığı tutturulduğunda ışın vermeye başlanır. Doz sadece, marker belirlenmiş aralıkta olduğunda verilir ve hasta nefes alma ihtiyacı duyduğunda ise 20 sn ara verilir sonrasında tüm tedavi bitinceye kadar bu işlemlere devam edilir.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

C- Nefes Tutma Metotları

4- Diğer Yaklaşımlar

1. Aktif Solunum Kontrolü (Elekta, Active Breathing Coordinator™(ABC))
2. Self-Held Breath-Hold without Respiratory Monitoring



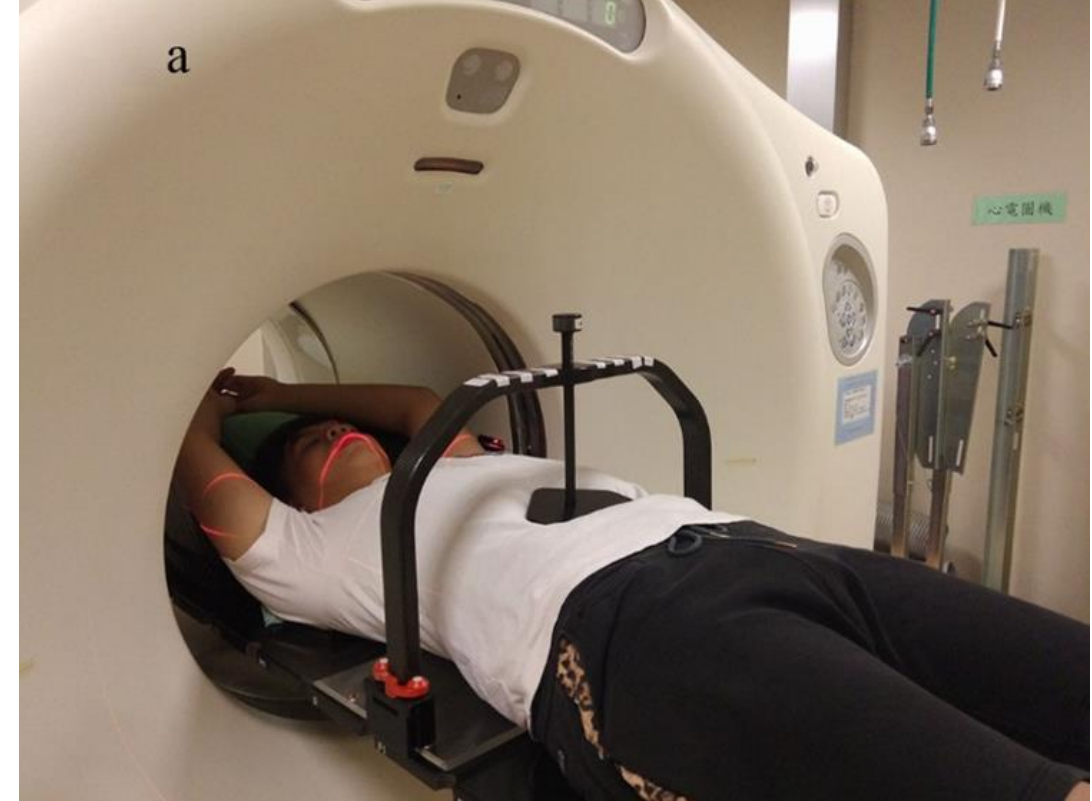
Elekta, Active Breathing Coordinator™(ABC)

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

D- Abdominal Baskı ile Zayıf Nefes Sistemi (FSB)

1- Giriş

Bu teknik streotaktik vücut sabitleyicisi ile birlikte kullanılır ve abdomene basan bir plakadan oluşur. Abdomene yapılan baskı ile diyafram hareketi baskılanırken normal nefes alıp vermeye izin verir.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

D- Abdominal Baskı ile Zayıf Nefes Sistemi (FSB)

2- Hasta Seçimi

- FSB yoğun olarak erken evre mediastinel yayılımı ve lenf nodu tutulumu olmayan akciğer ve karaciğer tümörlerine uygulanır.
- FSB tipik olarak streotaktik tedaviler için kullanılır olsa da konvansiyonel akciğer tedavilerinde de kullanılabilir.



Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

D- Abdominal Baskı ile Zayıf Nefes Sistemi (FSB)

3- Simülasyon

- Hasta streotaktik vücut sabitleyicisi kullanılarak sabitlenip pozisyonlandırılır
- Bu sabitleme yatağına sert yapıda ve üzerinde abdominal basıcı olan aparat hastaya göre yerleştirilir.
- Tümör hareketi floroskopik simülatör kullanılarak kraniyel-kaudel doğrultuda değerlendirilir.
- Eğer tümör hareketi 5 mm'yi geçiyorsa, göğüs kafesinin 2-3 cm altına ve üçgen ucu baş tarafına bakacak şekilde yerleştirilmiş olan abdominal plakaya basınç uygulanır.
- Plakanın yan tarafındaki ölçüler kullanılarak bu işlemin tekrarlanabilirliği sağlanır.





Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması



D- Abdominal Baskı ile Zayıf Nefes Sistemi (FSB)

4- Tedavi

- Negoro'nun (2001) yaptığı çalışmada hastaların değerlendirilmesi için günlük ortagonal portal görüntüler alınmış
- Planlanan pozisyondan toplam 3 mm'lik fark setup toleransı olarak belirlenmiş ve günlük setupların %25'inde yeniden pozisyonlama gerekmiş.
- 18 hastanın 11'inde tümör hareketi 5 mm'in üzerinde olduğu için abdominal baskı plakası kullanılmış.
- 10 hasta için abdominal baskı kullanılmadan önce hareket miktarı 8-20 mm (ortalama 12.3 mm) iken abdominal baskı plakası kullanıldığı durumda bu değerler 2-11 mm'ye (ortalama 7,0 mm) düşmüş.

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması

E- Gerçek Zamanlı Tümör Takibi



CyberKnife



Vero, BrainLab

Radyoterapide Solunuma Bağlı Hareketin Hesaba Katılması









Method of RMC	Respiratory status	Timing of beam-on	Time-efficiency	Internal margin
Suppress			good	large
Breath-hold			bad	small
Gating			bad	medium
Tracking			good	small

Fig. 7.2 Respiratory status, timing of beam-on, time-efficiency, and general size of the internal margin according to methods of respiratory motion control

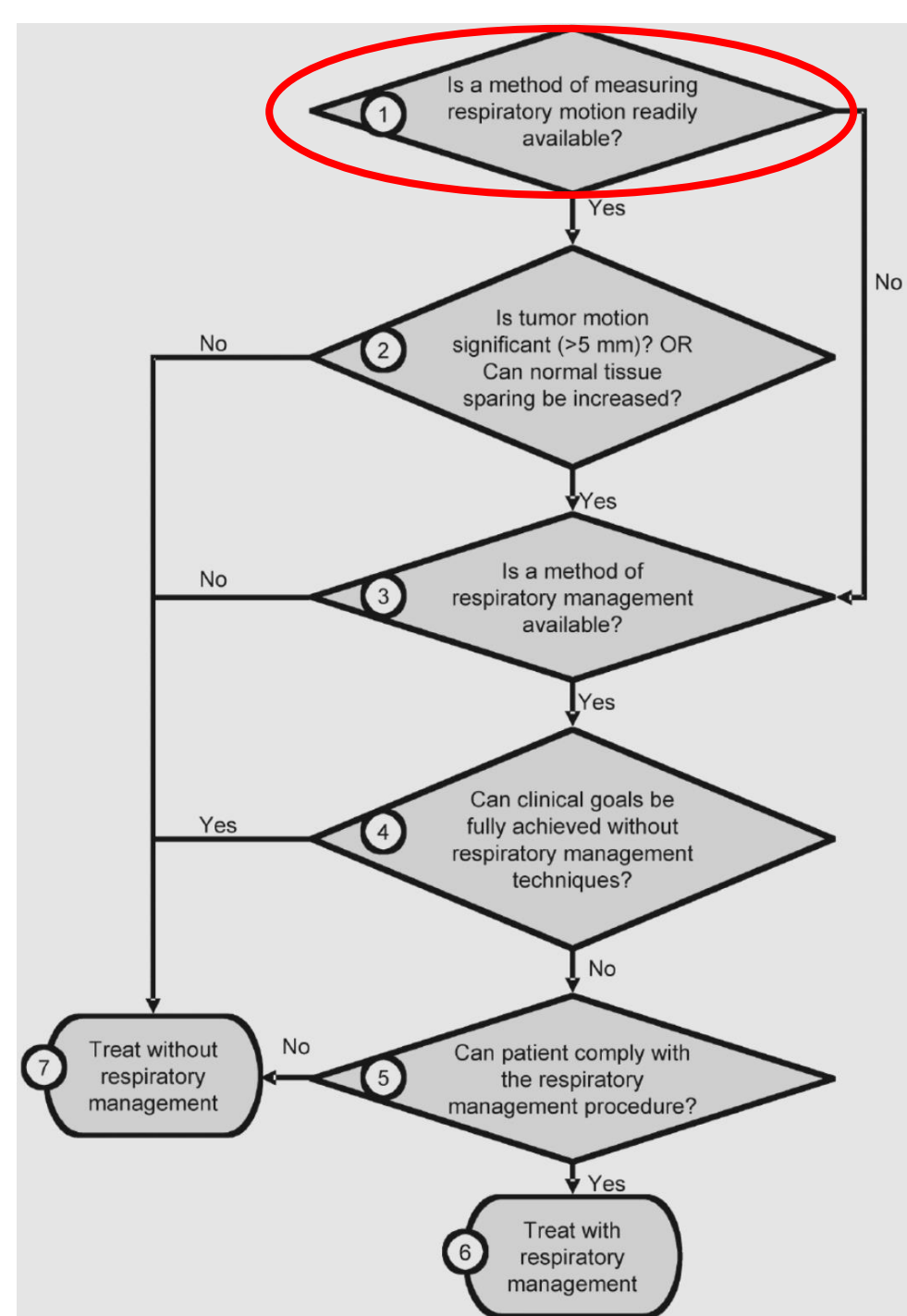
Table 4.2 Summary of the relationship between the internal margin decision and X-ray CT methods for each respiratory condition

Respiratory motion management	Irradiation method	CT method	Internal margin	Magnitude of internal margin	Delivery time
Free breathing	Common	Slow scan CT or 4D-CT	Add to range of all respiratory phases in the fluoroscopic image or 4D-CT image	Large	Long
Shallow breathing or respiratory depression				Medium	Short
Free breathing or shallow breathing	Gating	Fast scan CT or 4D-CT under conditions of the irradiation method	Add to deviation of target position repeatability in each corresponding irradiation technique	Medium	Long
	Intercepting pursuing			Small	Long
				Small	Short
Breath-hold	Static with breath-hold	Fast scan CT under breath-hold	Add to deviation of breath hold repeatability (several CT scans are recommended)	Small	Medium

TAVSİYELER

Task Group solunum hareketinden endişelenen hastalar için yandaki akış diyagramının kullanılmasını tavsiye ediyor.

- Eğer hareketi ölçme metodu mevcutsa, **1. kutu**daki soru sorulmalıdır.
- European Organization for the Research and Treatment of Cancer (EORTC)'in tavsiyesi (Akciğer kanserinde, tedavinin planlanmasında ve verilmesinde 3 boyutlu tümör hareketi değerlendirilmelidir.)
- Tümör hareketi ölçülürken birçok solunum döngüsünde hareket gözlemlenmelidir.
- Eğer herhangi bir hareketi ölçme yöntemi yok ise sağduyulu bir yaklaşım olarak hareketin ciddi oranda olduğu varsayılır ve tedavi solunum takibinde **(6. kutu)** gerçekleştirilir.

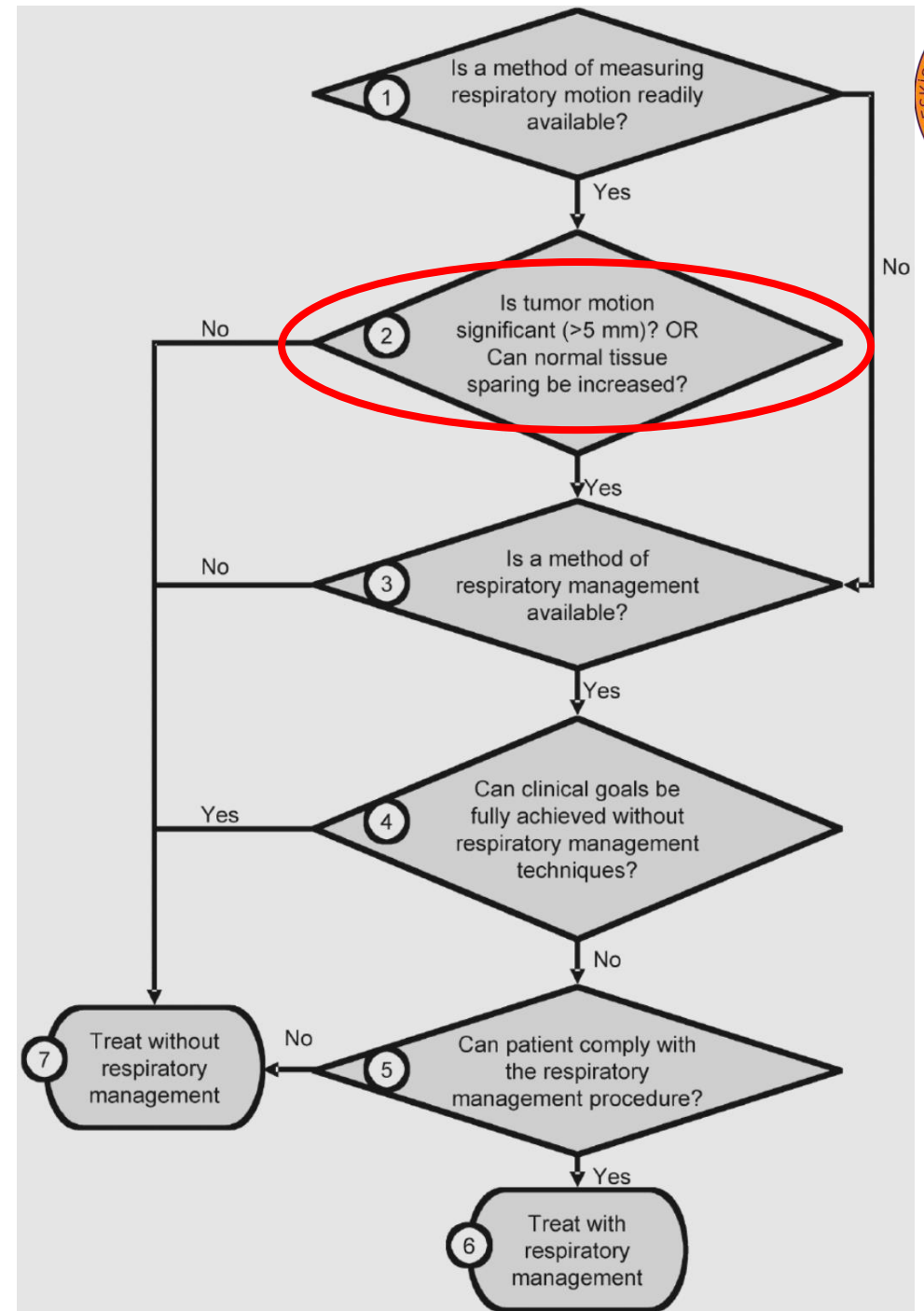


TAVSİYELER

Hareketin ölçülmesi mümkünse (örneğin floroskopi), aşağıdaki nedenlerden dolayı hareketin ölçülmesi değerli olabilir

1. Eğer hareketin büyüklüğü **5 mm**'den az ise (herhangi bir doğrultuda) solunum takibinin yapılması gereksiz bir eforun sarf edilmesi olur (tabi ki solunum takibiyle sağlam dokuların korunmasında ekstra bir fayda sağlanmadığı durumda).
2. Eğer hastaya özgü tümör hareketinin ölçülmesi mümkünse bu bilgi CTV'den PTV'ye geçişte marj verilmede kullanılabilir

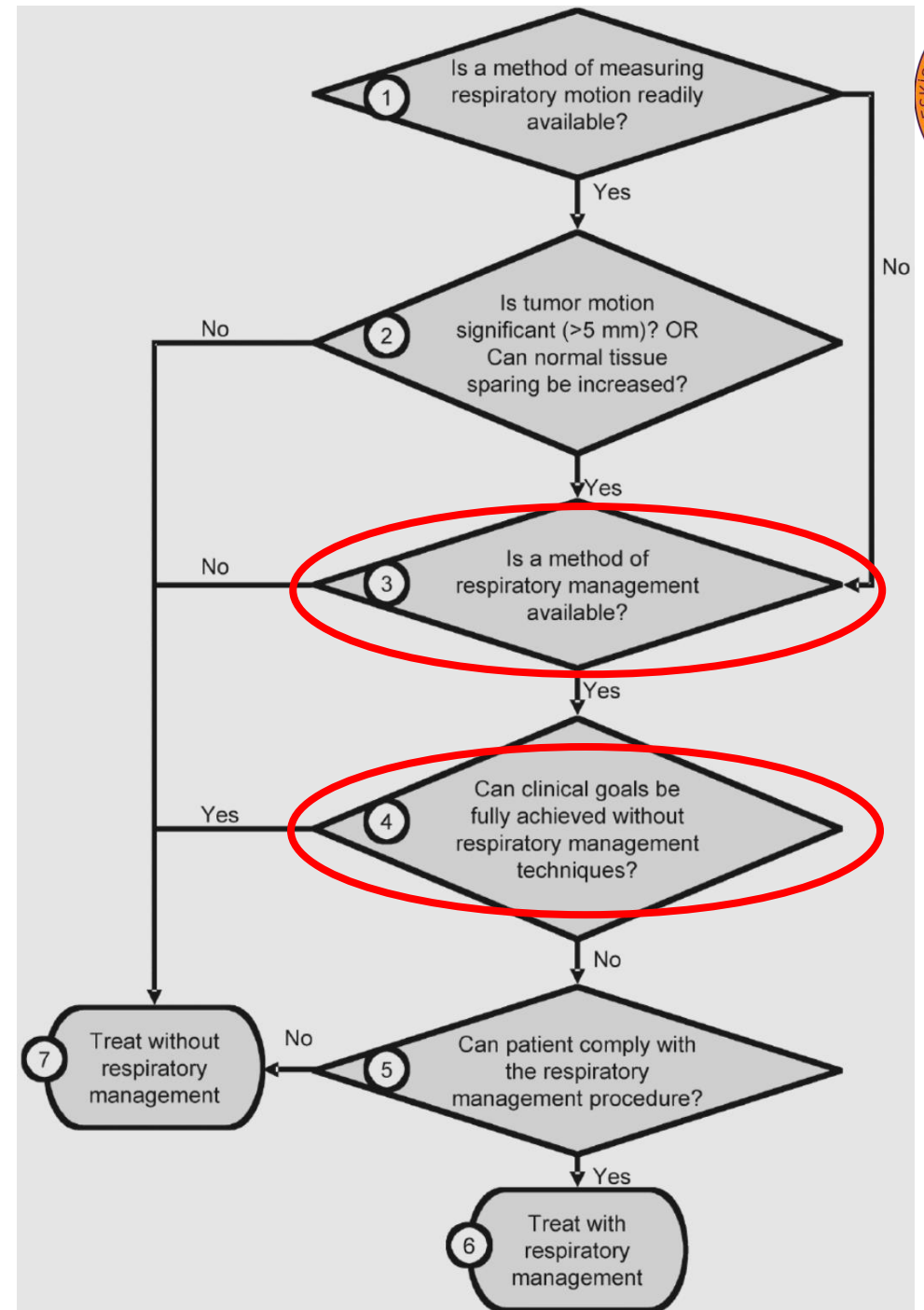
Not: Örneğin **SBRT** gibi özel prosedürlerin uygulandığı durumlarda 5 mm kriteri azaltılabilir.



TAVSİYELER

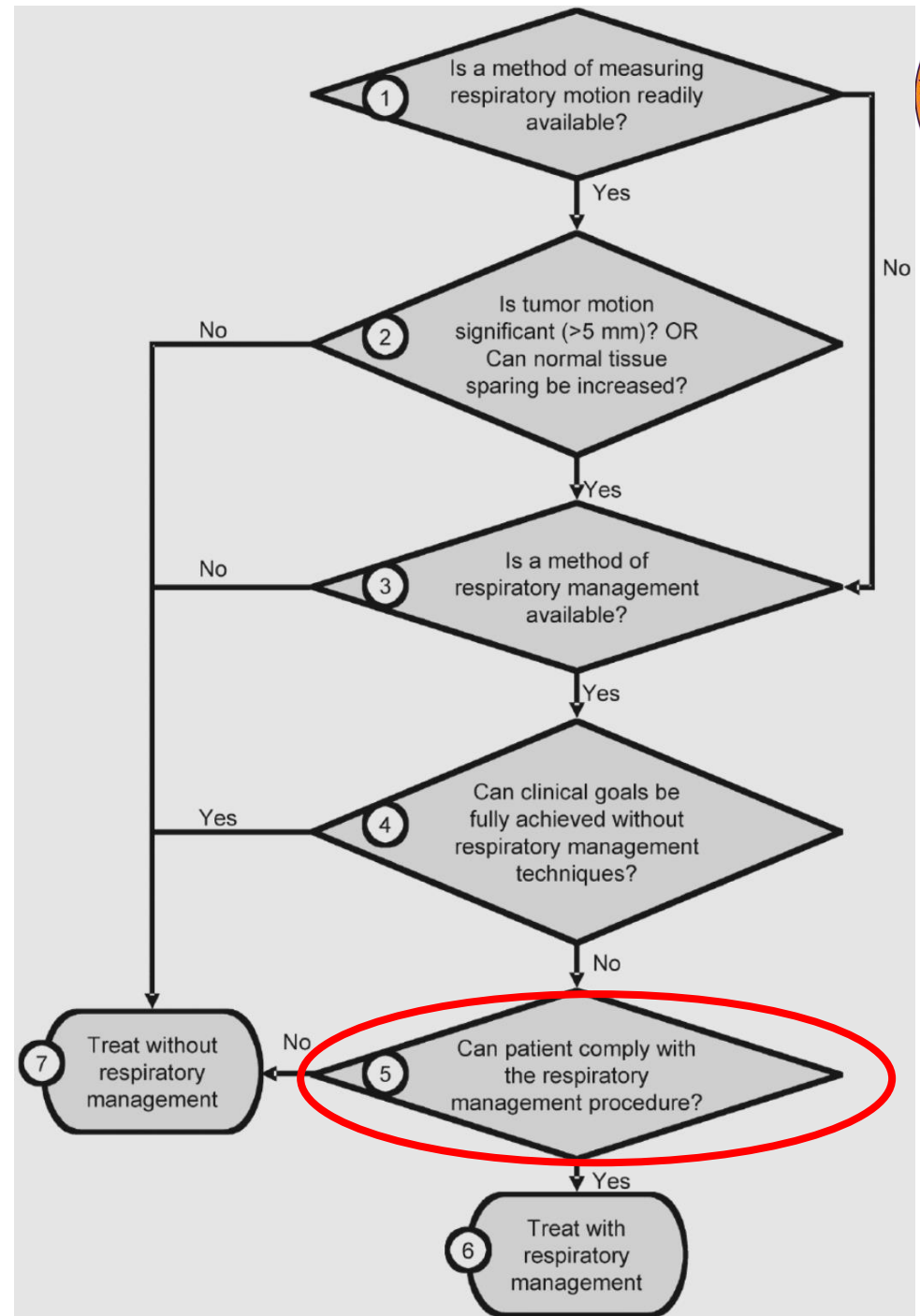
Solunumu yönetmek için herhangi bir yöntem mevcut ise **4 numaralı** kutudaki soru cevaplanmalıdır. Fakat bu sorunun cevabı pek kolay değildir:

1. Palyatif vakalar ?
2. Çok küçük metastazlar (SBRT hariç ?)(uygun marj verildiğinde de hedef halen küçük kalabilir, dolayısıyla buna bağlı sağlam doku toksitesi düşük kalabilir)



TAVSİYELER

Diğer cevaplandırılması gereken önemli soru ise hastanın solunum yönetimi prosedürünü tolere edip edemeyeceğidir. Daha öncede bahsedildiği gibi solunum yönetimi tekniklerinde hastayı rahatsız eden pek çok faktör olabilir ve çoğu durumda da kimin bunu tolere edip kimin edemeyeceğini öngören pek az faktör vardır. Buradaki sağ duyulu yaklaşım **solunum yönetiminin denenmesi** ve eğer başarısız olunursa da solunum yönetimi olmaksızın tedavi yapılmasıdır.



Teşekkür Ederim...