

BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİDE KULLANILAN RADYASYON NİCELİKLERİ

VE

RADYASYONLA İLİŞKİLİ KANSER RİSKLERİNİN HESAPLANMASI

Son zamanlarda gerek e-posta adresime gerekse WEB sayfamaya gönderilen soruların önemli bir kısmı, bilgisayarlı tomografide (BT) hastalarının maruz kaldıkları radyasyon dozları ile kanser riski arasındaki ilişki ve bu dozları ifade eden niceliklerin anlamları üzerine. Hasta dozları ve risklerle ilgili bilgileri gerek kitaplarımda gerekse WEB sayfamda, farklı okuyucu kitlelerine yönelik olacak şekilde, ayrı sekmeler altında iletmeye çalıştım (1,2,3). Burada detaylara girmeyeceğim, ancak kısa bir bilgilendirme yapacağım. Konuya yabancı olmayan okurlar, iki örnek ve bir özetin verildiği son kısma geçebilirler.

BT dozlarını veren farklı niceliklerin anlaşılması, konuya tam hâkim olmayanlar için pek kolay değil. Hem çok karmaşık hem de birden fazla ve birbiri ile ilintili farklı nicelikler var. Kendisi veya bir yakını için yapılan bir BT incelemesinde alınan radyasyon dozlarını merak edenlerin aldıkları yanıtlar bu nedenle çoğu zaman endişelendirici boyutlarda olabiliyor.

Bu yanıtlar bazen çalışanlar (teknisyen veya hekimler) tarafından ancak hatalı olarak veriliyor. Diğer taraftan, günümüzde hemen tüm BT sistemlerinde hasta dozu ile ilgili bazı nicelikler, inceleme sonunda sistem tarafından otomatik olarak gösteriliyor ve bu bilgi hasta raporuna ekleniyor. Sonuçta kişilerin bu doz değerlerine e-nabız aracılığı ile ulaşması mümkün oluyor. Ancak verilen rakamların ne anlama geldikleri bilinemediğinden, kişilerin çoğunda ileride kansere yakalanma endişesi ortaya çıkıyor.

Kısaca BT incelemelerinde doz ölçüm amaçlarını ve kullanılan niceliklerini açıklamaya çalışayım.

BT’de doz ölçümlerinin asıl amacı hastanın, olasılığı çok düşük de olsa, sonraki süreçte yakalanabileceği kanser riskinin tahminine yöneliktir. Bu süreç, ışınlamadan 5 – 10 sene sonra başlar ve azalan bir trendle yaşam boyu devam eder. Bir diğer amaç ise BT sisteminin radyasyon çıktısının ve performansının belirlenmesine yöneliktir.

Birimi Sievert (Sv) olan Etkin Doz (ED), tek bir organ veya vücut bölgesinin ışınlanmasına bağlı olarak, tüm vücut için radyasyona bağlanabilecek olası kanser riskinin tahmin edilmesi için kullanılır. Işınlanan organların soğurdukları radyasyon dozlarını ve bu organların radyasyona karşı hassasiyetlerini dikkate alarak yapılan hesaplamalar ile saptanır. BT’de doz değerleri genelde 1000 kat daha düşük olan alt birim milisievert (mSv) cinsinden verilir.

BT sistemlerinde X-ışın kaynağı ile detektörler dizisi gantri içinde karşılıklı yerleştirilmiştir ve vücut, uzun eksenine dik yönde, hasta etrafında 360 derece boyunca sürekli olarak ışınlanır. Yapılan inceleme ve cihazın tasarımına göre bu tarama hastanın uzun eksenini boyunca tekrarlanır. Organlar her yönden farklı dozlara maruz kaldıklarından, doğrudan doz ölçümü yapmak mümkün değildir. Bunun için plastikten yapılmış silindirik şeklinde standart bir fantom (CTDI Fantomu) tomografik tarama boyunca ışınlanır ve fantomun farklı yerlerine yerleştirilmiş dozimetreler ile soğurduğu doz ölçülür. Kafa ve vücut için iki farklı fantom kullanılır (16 ve 32 cm uzunlukta). Ölçülen bu değer CTDI_w (Computed Tomography Dose Index) olarak adlandırılır

ve miligray (mGy) olarak verilir. Hasta dozunu etkileyen tüm ışınlama parametreleri için (kVp, mAs, gibi) $CTDI_W$ önceden ölçülür ve daha sonra hastaların dozlarının saptanması için sistem hafızasında saklanır.

Klinik incelemelerde vücudun uzun eksen boyunca gerçekleşen taramaların kesit sıklığı değişebilmektedir. Bazı uygulamalarda taramalar kısmen iç içe girerken, diğerlerinde taramalar arasında aralıklar olabilir. $CTDI_W$ değerini, bu tarama aralığından bağımsız yapmak için bu aralığı dikkate alan bir faktöre (PF - pitch factor) bölünür ve $CTDI_{VOL}$ niceliği elde edilir.

Hasta bazında doz bilgisinin elde edilebilmesi için incelemede kullanılan ışınlama parametrelerine karşı gelen $CTDI_{VOL}$ değeri, daha sonra hastanın uzun eksen boyunca ışınlandığı tarama mesafesi ile (cm olarak) çarpılır (örneğin toraks incelemesinde boyunun altından bele kadar olan mesafe). Bu çarpım, DLP (Dose Length Product) niceliğidir.

Gerek $CTDI_{VOL}$ (mGy) gerekse DLP (mGy-cm) her hasta incelemesinde sistem tarafından gösterilir.

Olası kanser riski etkin dozun hesaplanmasıyla bulunur. Bunun için matematiksel modellemeler ile saptanmış olan dönüşüm faktörleri (k) ile DLP niceliği çarpılır. Bu faktörler, farklı yaşlardaki çocuklar ve yetişkinler için vücudun değişik bölgelerine yönelik olarak (kafa, toraks, abdomen gibi) ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 1).

International Commission on Radiological Protection (ICRP) kuruluşu 1 Sievert için yaşam boyu ölümcül kanser riskini %5 olarak vermektedir (1 Sv ışınlamaya maruz kalan 100 kişiden 5 kişinin riski) (5). En önemli husus risk saptamasının ışınlanan bir kişiye spesifik olarak yapılmamasıdır, yani 1 Sv doz almış bir kişinin riski tartışılmaz. Riskler benzer ışınlamalara maruz kalmış bir toplulukta, sonradan ortaya çıkacak olası kanser vakaları olarak ifade edilir. Ancak etkin doz, radyasyon incelemesi yapılmış bir hasta için risk bağlamında kabaca bir fikir vermesi nedeniyle, yaygın olarak kullanılmaktadır.

ICRP risk faktörü, her iki cinsiyet ve yaşlar için ortalama bir değer olup bayanlarda az bir oranda daha fazladır. Ancak çocukların riskleri yetişkinlere göre daha fazladır. 10 yaş altı çocuklarda bu artış %10 - %15 civarındadır.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, risk hesaplamaları için her iki cinsiyet ve farklı yaşlara yönelik olarak modellenen matematiksel fantomların, o yaşlar için kabul edilmiş referans vücut boyutlarına göre tasarlanmış olmasıdır. Bu boyutlardan olan farklılıklar arttıkça saptanan değerlerdeki hata payları da artacaktır. Genel olarak etkin doz hesaplamalarındaki belirsizlikler %40'a ulaşmaktadır.

BT incelemelerinde radyasyon dozları sistemin tasarımına, ışınlama parametrelerine, hasta boyutlarındaki geniş dağılıma ve farklı klinik protokollere bağlı olup çok geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Hastaya verilecek radyasyon dozunun kontrolünde ise yukarıda verilen nicelikler için hazırlanmış **“diagnostik referans (rehber) seviyeler”** kullanılır. Bu seviyelerin belirlenmesinde yetişkinler için standart hasta boyutları dikkate alınır (genelde 70 ± 10 kg vücut ağırlığı). Çocuklarda ise tek bir standart hastanın kullanılması, boy ve ağırlıklarının çok geniş bir aralıkta olması nedeniyle mümkün değildir. Tablo 2’de verilen yaş aralığı veya ağırlıkların aralığı (<5 kg, 5 – 15 kg, 15 - <30 kg gibi) kullanılır. Kendi şartlarına uygun referans seviyeleri

belirlemiş ülkeler sonuçlarını uluslararası bilim kuruluşlarının önerileri ile karşılaştırarak rutinde kullanmaktadır. Ancak ülkemizde bu rehber seviyeler henüz saptanmamıştır. Bu eksikliği bir dereceye kadar gidermek amacıyla Tablo 2 ve 3 hazırlanmıştır. Bu seviyeler, klinik uygulamalarda kullanılması gereken sınırlar değildir. İncelemeye ve hastaya göre bu değerler aşılabılır. Tablolardaki sonuçlar, standart yetişkin ve çocuklar için standart kabul edilmiş belirli yaş gruplarının, farklı literatürlerden alınmış ortalama değerlerini vermektedir. Parantezler içindeki rakamlar ise bu literatür verilerindeki maksimum ve minimumları göstermektedir.

Üzerinde önemle durmak istediğim bir husus ise hemen tüm yazılarımda vurguladığım **radyasyon-kanser** ilişkisinin bir **risk kavramı** çerçevesinde değerlendirilmesidir. Kanser tanısı konmuş bir hastanın bu hastalığa yakalanmasının nedenini, geçmişte maruz kaldığı bir BT incelemesine bağlamak mümkün değildir. Kanser hastalığının ortaya çıkması, ışılandıktan 5 – 10 yıl sonra olabilmekte ve risk azalan bir trendle yaşam boyu sürebilmektedir. Kişinin bu süreçte çok değişik kanserojenlere maruz kalacağı ve herkesin bağışıklık sisteminin farklı olduğu unutulmamalıdır.

BT’de vücut üzerinde doğrudan bir ölçüm yapılmamaktadır. İnsan gövdesi ve kafası, yaklaşık boyutlardaki plastik fantomlarla veya bilgisayar modellemeleri ile temsil edilmekte ve farklı nicelikler kullanılmaktadır. Kısaca özetlenirse:

CTDI_w (mGy) : Fantomun farklı kısımlarında yapılan doz ölçümlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. BT sisteminin radyasyon çıkışını verir. Kalite kontrol çalışmalarında kullanılır

CTDI_{vol} (mGy) : CTDI_w / PF olarak saptanır. Hastanın aldığı radyasyon dozunun bir ölçüsü değildir. Daha ziyade klinik protokoller ile farklı BT sistemlerinin karşılaştırılmasına yönelik bir niceliktir.

DLP (mGy – cm) : CTDI_{vol} x Hastanın uzun eksenli boyunca taranan uzunluğu. Hastaya özgün boyut dikkate alındığı için hasta dozu ile ilgili yaklaşık bir bilgi verir.

ED (mSv) = DLP x k. Hastanın olası kanser riskini yaklaşık olarak gösteren birimdir.

İki örnek verelim:

Üç yaşında bir çocuğun kafa incelemesinde sistem tarafından gösterilen CTDI_{vol} değerinin 35 mGy, DLP değerinin ise 550 mGy-cm olduğunu varsayalım. (Vücudun uzun eksenli boyunca taranan mesafesi 550 / 35 = 15 cm olmuştur). Bu iki sonuç sistem tarafından gösterilecektir. Tablo 2’den gerek CTDI_{vol} gerekse DLP’nin normal sınırlarda olduğu görülmektedir.

Etkin doz : ED = DLP x k

-k- faktörü Tablo 1’den 0,0053 olarak alınırsa (bir ve beş yaşlardaki -k- faktörlerinin ortalaması)

$$ED = 550 \times 0.0053 = \mathbf{2,915} \text{ mSv olarak bulunur.}$$

Bu sonuç benzer incelemeyi yaptıran aynı yaş ve cinsiyette 6896 bebekten birinde ömrünün geri kalanında, bu radyasyona bağlanabilecek kanser riskini ifade eder.

Şimdi yetişkin bir kişinin kafa incelemesinde aldığı dozu hesaplayalım. Tarama sonucunda sistem tarafından $CTDI_{VOL}$ değerinin 38mGy, DLP'nin ise 820 mGy-cm olarak verildiğini varsayalım. Bu değerler de Tablo 3'den anlaşılacağı gibi referans değerler içerisinde.

-k- değeri Tablo 1'den 0,0021 alınarak

Etkin Doz = $DLP \times k$

= $820 \times 0,0021 = 1,722$ mSv bulunur. Yaşam boyu ölümcül kansere yakalanma riski 1/11.614'dur (Aynı incelemeyi yaptıran 11.614 kişide bir kişi).

Görüldüğü gibi çocuğun aldığı radyasyon yetişkine göre daha fazladır. Dikkat edilecek olursa ömür boyu ölümcül kanser riskleri olarak hesaplanan 1/6896 ve 1/11.614 oranları %5/Sv ortalamasına göre verilmiştir. Gerçekte bebeğin radyasyona bağlı riski, bulunan bu değerden %10 veya %15 daha büyüktür.

Yukarıda verdiğim yaşam boyu ölümcül kanser riskleri irdelenirken, kişilerin ışınlama sonrası yaşamlarında diğer kanserojenlere bağlı olarak ortaya çıkabilecek kansere yakalanma ve ölme risklerinin çok daha fazla olduğunu belirtmek gerekir. Bu riskler, gelişmiş ülkelerin çoğunda sırasıyla %40 ve %25 civarındadır. Yani yukarıdaki örnekte verilen 11.614 kişiden 4654 kişi radyasyon dışı nedenlere bağlı olarak kansere yakalanacaktır.

ÖZET

Bilgisayarlı Tomografi incelemesinde hastanın aldığı dozun normal sınırlarda olup olmadığının anlaşılması ve kanser riskinin tahmini için:

1-) Sistem tarafından gösterilen $CTDI_{VOL}$ (mGy) ve DLP (mGy-cm) değerlerini Tablo 2 ve 3'den kontrol ediniz. Parantez içindeki rakam aralıkları normal değerleri göstermektedir.

2-) Etkin dozu bulmak için DLP sonucunu Tablo 1'de verilen incelemeye karşı gelen -k- faktörü ile çarpınız.

3-) Ölümcül kanser riskini yaklaşık olarak tahmin etmek için çarpım sonucunu 5×10^{-5} ile çarpınız. Elde edeceğiniz sonuç, radyasyona bağlı bir kanser vakasının kaç binde bir olduğunu ifade edecektir.

Tablo 1. Etkin dozun bulunabilmesi için en çok incelenen vücut bölgelerine yönelik DLP değerleri ile çarpılacak dönüşüm katsayıları (k). (4).

k (mSv x mGy⁻¹ x cm⁻¹)					
	0 Yaş	1 Yaş	5 Yaş	10 Yaş	Yetişkin
Kafa ve Boyun	0,013	0,0085	0,0057	0,0042	0,0031
Kafa	0,011	0,0067	0,0040	0,0032	0,0021
Boyun	0,017	0,012	0,011	0,0079	0,0059
Toraks	0,039	0,026	0,018	0,013	0,014
Abdomen Ve Pelvis	0,049	0,030	0,020	0,015	0,015
Gövde	0,044	0,028	0,019	0,014	0,015

NOT: Yukarıdaki tabloda verilen k faktörleri insan vücudunun benzeşiminin yapıldığı matematiksel fantomlar ile elde edilmiştir. Literatürde kullanılan yöntemlere ve matematiksel fantomların tasarımlarına bağlı olarak farklı -k- faktörleri de verilmekle beraber, halen bu tablodaki değerler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2. Farklı yaşlardaki çocuklar için uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen referans CTDI_{VOL} (mGy) ve DLP (mGy-cm) değerleri. Klinik uygulamalarda aşağıda verilen yaş gruplarına giren hastaların, CTDI_{VOL} ve DLP değerlerinin parantez içerisindeki veriler arasında kalması, mümkün olduğu kadar ortalamaya yakın olması beklenmelidir (5,6).

	CTDI _{VOL} (mGy)	DLP (mGy-cm)
Kafa		
0 < 1 yaş	26 (18 – 37)	395 (260 – 578)
1 < 2 yaş	30 (23 - 40)	535 (270 – 660)
2 < 6 yaş	37 (26 – 50)	570 (420 – 840)
6 – 18 yaş	50 (35 – 60)	760 (500 – 1000)
Toraks		
0 < 1 yaş	1,4 (0,44 – 2,8)	45 (8 – 70)
1 < 5 yaş	1,8 (0,86 – 3,8)	50 (18 – 200)
5 < 10 yaş	2,7 (1,2 – 6,5)	105 (44 – 230)
10 < 15 yaş	3,7 (1,2 – 7,2)	180 (100 – 272)
15 – 18 yaş	9 (4 – 14)	380 (200 – 596)
Abdomen ve Pelvis		
0 < 1 yaş	4,25 (2,4 – 7)	96 (27 – 170)
1 < 5 yaş	4 (2,9 – 6)	130 (80 – 190)
5 < 10 yaş	5,25 (4 – 7,5)	185 (125 – 265)
10 < 15 yaş	7,2 (6 – 9)	320 (210 – 450)
15 – 18 yaş	11 (9 – 13)	500 (480 – 511)

Sonuçlar, ACR (American College of Radiology), Avustralya, Belçika, Kanada, İngiltere, Almanya, Japonya, Kore ve Avrupa Topluluğu tarafından 2016 ve sonrasında yapılan çalışmaların ortalamasını ve her yaş için saptanan minimum ile maksimum değerleri vermektedir.

Tablo 3. Standart hasta tanımına uygun (70 ± 10 kg) yetişkin hastalar için önerilen $CTDI_{VOL}$ ve DLP referans değerleri. İlk 10 bulgu için ortalamalar AB tarafından kabul edilen değerlerdir (7). Parantez içerisindeki veriler ise yine standart hastaya uygun olarak, diğer literatürlerden alınan minimum ve maksimum verilerdir.

	$CTDI_{VOL}$ (mGy)	DLP (mGy-cm)
İnme- kanamanın saptanması ve dışlanması	48 (26 – 80)	807 (470 – 1000) Bir
Kronik sinüzit – Nazal poliplerin tespiti veya dışlanması	11(< 21) ¹	188 (183 – 373)
Servikal omurga travması – Bir lezyonun saptanması veya çıkarılması	17 (13 – 31)	455 (300 – 962)
Pulmoner emboli – Saptama veya dışlama	9 (8 – 19)	307 (235 – 560)
Koroner kalsiyum skorlaması – Risk sınıflandırması	4 (< 8) ¹	72 (< 120)
Koroner anjiyografi – damarların tanısı	25	415 (330 – 915)
Akciğer kanseri – Onkolojik evreleme	8 (7 – 16)	348 (241 – 650)
Hepatoselüler karsinom – Onkolojik evreleme	9 (<14) ¹	354 (< 2016)
Kolik / karın ağrısı –	8 (5 – 10)	436 (200 – 773)

Bir taşın dışlanması veya saptanması

Apandisit – tanı veya dışlama	9 (<16) ¹	498 (< 1060)
Pulmoner emboli	12 (8 – 19)	367 (235 – 560)
Karaciğer kanseri	15 (9 – 31)	680 (400 – 1423)
Apse lenfadenopati	15	675 (652 – 745)

1: Verilen değerden küçük olmalıdır

REFERANSLAR

1-Radyasyon- Sağlık Riskleri Ve Tanısal İncelemelerde Korunma

Dünya Kitabevi (ISBN : 978-605-9615-06-8).

2- Günlük Yaşamımızda Radyasyon

Dünya Kitabevi (ISBN : 978-605-9615-07-5).

3- www.doganbor.com

4-Updated estimates of typical effective doses for common CT examinations in the UK following the 2011 national review. Paul C Shrimpton ve diğerleri Br J Radiol 2016; 89

5- U.S. Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses for 10 Pediatric CT Examinations

Kalpana M. Kanal, PhD • Radiology 2021; 000:1–11.

6- EUROPEAN COMMISSION RADIATION PROTECTION N° 185, 2018.

European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging. 2018.

7- EUROPEAN COMMISSION RADIATION PROTECTION N° 195, 2021

European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging
EUCLID

Ufuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji AD. Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Gökçe Kaan Ataç'a makaleme verdiği katkı için çok teşekkür ediyorum.