



Radyoiyot (I-131) Tedavisinde Kemik İliği Dozimetrisi

Bone Marrow Dosimetry in Radioiodine (I-131) Treatment

Yasemin Parlak

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Manisa, Türkiye

Öz

Radyoiyot tedavilerinde vücuttaki en radyosensitif doku kırmızı kemik iliğidir. Dozimetri ile radyoiyot iyot-131 tedavisinde doz sınırlayıcı organ olan kemik iliğini temsil eden kanın 2 Gy'nin altında doz almasını sağlayacak maksimum aktivitenin hesaplanması yapılır. Dozimetri, yaklaşık 74 mBq (2 mCi) radyoiyot uygulamasını takip eden süreçte hastadan alınan kan örneklerinin gama sayıcıda sayılmasına dayanan hesaplamaları içerir.

Anahtar Kelimeler: Radyoiyot tedavisi, kemik iliği dozimetrisi, I-131 tedavisinde dozimetri

Abstract

In radioiodine therapies, the most radiosensitive tissue in the body is the red bone marrow. The maximum iodine-131 activity is calculated through dosimetry to ensure that the blood-representing the dose-limiting organ, the bone marrow receives a dose below 2 Gy during treatment. Dosimetry involves calculations based on measuring blood samples collected from the patient after administering approximately 74 MBq (2 mCi) of radioiodine, using a gamma counter.

Keywords: Radioiodine treatment, bone marrow dosimetry, dosimetry on I-131 treatment

Giriş

Kemik iliği vücuttaki en radyosensitif dokudur ve hematolojik toksisite nedeniyle radyonüklit tedavilerde doz sınırlayıcı organdır. Radyonüklit tedaviden kaynaklanan kemik iliği toksisitesi için soğurulan doz ile biyolojik etki arasındaki ilişkinin gösterilmesi zordur. Kanser tedavilerinde temel prensip en yüksek güvenli dozu uygulamaktır. 1962 yılında Benua ve ark. (1) tarafından yapılan bir çalışmada en yüksek güvenli doz limiti 2 Gray (Gy) olarak tanımlanmıştır. Kan bazlı bu metoda amaç, radyoaktif iyot-131 (I-131) tedavisinde doz sınırlayıcı organ olan kemik iliğini temsil eden kanın 2 Gy'nin altında doz almasını sağlayacak maksimum aktivitenin belirlenmesi yöntemidir (2). Yöntemin avantajları, lezyon hacmi tespitinin gerekmemesi ve düşük aktivite ile yapılması nedeniyle tümör dokusu biyokinetiği üzerindeki

etkilerden kaçınılması ve en yüksek aktivitenin her hasta için ayrı ayrı hesaplanabilmesidir (3,4). Bu yöntem ile kalan doku ya da metastatik dokuda absorbe edilen doz, periferik kan değişikliklerine ya da uzun vadede hematolojik hastalıklara neden olabilen sabit bir aktivite yaklaşımının aksine, toksisiteyi indüklemeyen optimize edilebilir.

Kan, hem kanın içindeki radyoaktiviteden yayılan β partiküllerinden hem de vücudun geri kalanına dağılmış radyoaktiviteden kaynaklanan penetran γ radyasyonundan ışınlanır. Bu nedenle bu yöntemde maksimum tedavi aktivitesi, kana 2 Gy'lik soğurulan dozu aktaracak olan I-131 miktarı olarak hesaplanmaktadır (5).

Kan aktivitesi ölçümleri, hesaplanan I-131 dağılımının, kanda ve iç organlarda hemen hemen aynı konsantrasyonlarda ve radyoiyot konsantrasyonunun

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Prof. Dr. Yasemin Parlak, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Manisa, Türkiye

E-posta: yasemin.gultekin@hotmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-3682-7611

Geliş Tarihi/Received: 14.01.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 10.03.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 18.03.2025

Cite this article as/Atf: Parlak Y. Bone marrow dosimetry in radioiodine (I-131) treatment. Nucl Med Semin. 2025;11:15-20



Copyright© 2025 Yazar. Türkiye Nükleer Tıp Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır. Creative Commons Atf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makedir.

Copyright© 2025 The Author. Published by Galenos Publishing House on behalf of Turkish Nuclear Medicine Society. This is an open access article under the Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

kanda ve kırmızı iliktekine benzer olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kana absorbe edilen dozun ölçülmesiyle aslında hematopoetik sisteme dağılan doz da tespit edilmektedir.

Kemik iliğindeki aktiviteyi belirlemek için kemik iliği biyopsisi de yapılabilir, ancak bu yöntem sadece bir yerdeki kemik iliği aktivite konsantrasyonunu vereceği için birtakım belirsizlikler içerir.

Kemik iliği dozimetresi için daha sofistike pozitron emisyon tomografi (PET)/bilgisayarlı tomografi (BT) veya tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT)/BT görüntülerinden elde edilen voksel bazlı 3D aktivite kantifikasyonları veya Monte Carlo simülasyonları ile absorbe edilen doz hesabı yapılabilmektedir (6).

Kan bazlı yöntemin uygulanması için sadece iki bileşenin (kan ve tüm vücut) radyoaktivite izleminin yapılması gerekir. Zamanla kandaki radyoyodun kinetiğini belirlemek için beş kan örneği alınması önerilir. Tüm vücuttaki aktivite, çift başlı bir gama kamera ile tüm vücut görüntüleme veya sabit bir geometri kullanılarak bir prob ile tüm vücut sayımı ile izlenmelidir.

Kan bazlı yaklaşımın avantajları;

- Radyoyodun maksimum güvenli aktivitesinin her hasta için ayrı ayrı belirlenebilmesi,
- Sabit aktivitelerin güvenli olmadığı hastaların belirlenmesi,
- Çoklu tedavilerden sonra tümör/lezyon biyokinetiğindeki değişiklikleri önlemek için düşük aktiviteli "fraksiyonlu" bir tedavi uygulama yerine bir kez daha yüksek aktiviteleri uygulama potansiyeli olması,
- Uzun zamandır kullanılıyor olması,
- İleri evre hastaları daha az tedavi ile iyileştirme olasılığında artış beklenmesi.

Yöntemin kısıtlı yönleri;

- Tümöre absorbe doz net olarak bilinmemektedir. Bu nedenle daha yüksek aktiviteler uygulanabilir.
- Stunning etkisi (I-131'in tanısal uygulamalarının tümör/lezyon biyokinetiğini ve dolayısıyla sonraki bir tedavide absorbe edilen dozu değiştirebileceği durum).

Hastaya özel kan bazlı dozimetrisinin tedavi öncesi dönemde uygulanması kolaydır ve seçilmiş hastalar için terapötik aktivitenin ciddi yan etki riski olmadan artırılmasına da imkan sağlamaktadır.

Hastada kemik metastazı durumunda kandaki absorbe dozu olduğundan az gösterebileceği için önerilmemektedir.

Diffüz akciğer mikrometastazlarından etkilenen hastalarda dikkatli uygulanmalıdır, çünkü kritik organ hematopoetik kırmızı ilik yerine akciğerin kendisi olabilir.

Kemik iliğine absorbe edilen doz (birim kütle başına depolanan enerji), hedef bölgenin kütlesi ile ters orantılıdır. Anatomik olarak tüm vücuda yayılımı nedeniyle kemik iliğinin kütlesini belirlemek zordur. Kemik iliği kütlesini tespit etmek için, Fe-52 veya F-18 Florotimidin yoluyla PET ve manyetik rezonans görüntüleme gibi daha yeni görüntü tabanlı yöntemler uygulanabilmektedir.

Data Toplama Zamanları

Oral uygulama durumunda, aktivite atılımının olmaması için ilk 2 saat hastanın tuvalete gitmemesi gereklidir. Bu nedenle, aktivite uygulanmadan hemen önce hastanın mesanesi boşaltılmalıdır. Tüm vücut aktivite ölçümünün 2 saatte (intravenöz uygulama durumunda 10 dakika) uygulanan aktivitenin %100'ü ile kantifikasyon sağlanması amaçlanmıştır ve herhangi bir aktivite atılımından önce gerçekleştirilmesi gerekir. Hasta 2 saat bekleyemiyorsa, 2 saatlik tüm vücut aktivite ölçümü daha erken başlatılabilir.

İyotun intravenöz uygulanması durumunda ilk görüntüleme veya ilk kan örneği, enjeksiyondan 10 dakika sonra alınmalıdır.

Sonraki tüm vücut görüntülemeleri 6., 24. ve 96. saatlerde yapılmalıdır. Tüm vücut aktivitesi kana absorbe edilen doza sadece %20-25 kadar katkıda bulunduğu, uygulamadan 96 saat sonrasına kadar tüm vücut ölçümleri hastaların çoğu için yeterli olacaktır. Ek olarak, tüm vücut retansiyonu %5'i geçerse, 144. saat sonra ek bir ölçüm yapılması düşünülmelidir.

Görüntüleme öncesi hastanın mesanesi boşaltılmalıdır. Hastaların barsak ve kolonda tutulan I-131 nedeniyle artefaktları azaltmak için barsak temizliği yapması sağlanmalıdır.

I-131'in Hazırlanması

Radyonüklidin aktivitesini ölçmek için öncelikle kullanılan doz kalibratörü, I-131 için doğru kalibre edilmelidir. Tüm vücutta kalma süresinin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi için gerekli olan I-131 aktivitesi, kullanılan ekipmana bağlıdır. Tüm vücut aktivitesi gama

kamera ile ölçülecekse, kaynak ayrı ayrı veya hasta ile taranabilir.

Sıvı I-131 uygulanması durumunda, uygulanan aktiviteyi belirlemek için kalıntı aktivitenin de incelenmesi gerekir. Doz kalibratörünün doğruluğu, onaylı bir kaynak tarafından test edilmeli ve kalite güvence prosedürleri gereği belgelenmelidir.

Tüm Vücut Görüntüleme

Tüm vücuttaki aktivite, tüm vücut dozimetrisi ve kemik iliğine çapraz soğurulan dozun hesaplanmasında kullanılan vücudun geri kalanındaki aktiviteyi belirlemek için tespit edilir. Tüm vücut aktivite ölçümleri için yüksek enerji kolimatörlü çift başlı bir gama kamera önerilir. Bununla birlikte, büyük kristalli bir spektroskopik prob da kullanılabilir. Tüm vücuttaki aktivite, çift başlı bir gama kamera ile tüm vücut tarama görüntülerinden hesaplanır. Aktivite ve tarama süresi, kamera dedeksiyon etkinliği dikkate alınarak seçilmelidir. Uygulanacak aktivitenin anterior ve posteriordan alınan sayımların geometrik ortalaması 10^5 'in üzerinde olmalıdır.

Çift başlı bir gama kamera ile,

a. Bir nokta kaynağın net sayım hızı 50 cps/MBq'i geçmeli

b. Görüş alanındaki I-131 MBq başına net sayım hızı I-131 enerji penceresindeki background sayım oranının en az iki katı olmalıdır.

10-15 MBq kadar düşük bir I-131 aktivitesi yeterli sayım istatistiklerini sağlayacaktır. Görüntüleme öncesi cihazın kalite kontrol testlerinin yapılmış olması gerekir.

Ölçülen sayım oranlarının etkilememesi için en az bir kez background sayımı alınmalıdır. Görüntüleme yapılırken, hastaya kollar yanlarda ve başı görüş alanının üst sınırında olacak şekilde pozisyon verilmelidir.

Aktivite görüş alanının alt ucuna konumlandırılır. Kaynağın tamamen görüş alanı içinde olmasına ve hastanın bacaklarından mümkün olduğunca uzakta olmasına dikkat edilmelidir. Standart kaynak aynı kamera ayarları kullanılarak ayrı olarak da taranabilir. Bu durum, aktivitenin çıkarılmasını da kolaylaştırır.

Aynı hastanın tüm taramaları için aynı kamera, kolimatör ve kamera ayarlarının kullanılması önemlidir. Ancak farklı sistemler kullanılacaksa, sistemlerin geçerli bir çapraz kalibrasyonunun yapılması gereklidir.

Tüm vücut aktivitelerini ölçmek için, hastanın 2. saatinde alınan anterior ve posterior görüntülerinde tüm vücuduna ve standart aktivite çevresine ilgi alanları (*region of interest* - ROI) çizilir. Bu ROI diğer zaman aralıklarında elde edilen görüntüler üzerine de yapıştırılır. Tüm anterior ve posterior görüntülerinden elde edilen sayımların geometrik ortalamasının alınması gerekir.

Kan Örneklemesi

Uygulamadan sonra 1 hafta süreyle kan örneği alınmalıdır. Kandaki aktivite Aliquot metodu ile kuyu sayacı da tespit edilir. Tüm kan numuneleri (yaklaşık 2 mL kadar) uygulamadan 2, 6, 24, 96 ve 144 saat sonra alınır. Oral uygulama durumunda, ilk tüm vücut ölçümünün daha erken zamanlarda alınması durumlarında da, ilk kan örneğini almak için en uygun zaman yine 2. saattir. İntravenöz uygulama durumunda, ilk numune karşı koldan 10 dakika içinde alınmalıdır. Tüm kan örnekleri, son örnek alınana kadar saklanmalıdır.

Absorbe Doz Hesabı

Kemik iliğine absorbe edilen doz hesabında Tıbbi Dahili Radyasyon Dozimetri (*Medical Internal Radiation Dosimetry* - MIRD) yöntemi güvenle kullanılabilir. Kemik iliğine absorbe toplam doz, ilgili kaynak bölgelerden gelen katkıların toplamına eşittir. Uygulamadan sonra kandaki ve toplam vücuttaki aktiviteyi tanımlayan zaman-aktivite eğrileri multi-eksponansiyeldir. Aktivitenin çoğu, gün içerisinde hızlıca atılır, sadece rezidü doku, tümör ve gastrointestinal sistemde bir miktar kalır. Yavaş atılan bu bileşen ihmal edilemediği için bi-eksponansiyel fitting yapılmalıdır.

Bir hedef bölgeye absorbe edilen ortalama doz (\bar{D}_h), bir kaynak bölgedeki parçalanma sayısı (\bar{A}_k) ile kaynak bölgedeki parçalanma başına hedef bölgeye absorbe edilen dozun ($S_{h \leftarrow k}$) çarpılmasıyla hesaplanır. Bir hedef bölgedeki toplam absorbe edilen doz, tüm kaynak bölgelerden gelen katkıların toplamına eşittir. Bu nedenle toplam dozu aşağıdaki gibi ifade edebilir.

$$\bar{D}_h = \sum_k k_h \cdot S_{h \leftarrow k}$$

Kemik iliğine absorbe edilen ortalama doza katkı kemik iliğinin kendisindeki, kemikteki ve vücudun diğer kalanındaki aktiviteden gelir. Bunun yanı sıra az miktarda da olsa ortalama doza, kan hücrelerindeki aktivite ve

kemik iliğindeki hücre dışı sıvıdaki aktiviteden gelen katkılar da vardır.

1. Kemik iliği aktivitesi ($\bar{D}_{BM \leftarrow BM}$)
 - Ekstrasellüler sıvı aktivitesi ($\bar{D}_{BM \leftarrow ECF}$)
 - Kan ve kan bileşenlerinin aktivitesi ($\bar{D}_{BM \leftarrow BLcells}$)
 - Kemik iliği hücrelerindeki aktivite ($\bar{D}_{BM \leftarrow BMcells}$)
2. Kemik Aktivitesi ($\bar{D}_{BM \leftarrow bone}$) v v
3. Ana organ ve vücudun diğer kalanındaki aktivite ($\sum \bar{D}_{BM \leftarrow k} + \bar{D}_{BM \leftarrow RoB}$)

İlgili fraksiyonel katkılar, radyofarmasötüğün farmakokinetiğine, hastalığa ve hasta özelliklerine, örneğin bir lenfoma hastasında kemik iliği tutulumunun derecesine bağlıdır. Sadece plazmada aktivite konsantrasyonu varsa (kan bileşenlerinde aktivite alımı yoksa) kan örnekleme ile kandaki aktivite konsantrasyonundan yararlanılarak kemik iliği dozimetrisi yapılabilir (self absorbe doz). Bununla birlikte, kemikte veya kemik iliği hücrelerinin kendisinde spesifik bir alım varsa, kantitatif görüntüleme yapılmalıdır.

$$\begin{aligned} \bar{D}_{BM} &= \bar{D}_{BM \leftarrow BM} + \bar{D}_{BM \leftarrow bone} + \sum \bar{D}_{BM \leftarrow k} + \bar{D}_{BM \leftarrow RoB} \\ &= \tilde{A}_{BM} \cdot S_{BM \leftarrow BM} + \tilde{A}_{bone} \cdot S_{BM \leftarrow bone} + \sum_k \tilde{A}_k \cdot S_{BM \leftarrow k} \\ &\quad + \tilde{A}_{RoB} \cdot S_{BM \leftarrow RoB} \end{aligned}$$

Kümülatif Aktivite

Kümülatif aktivite (\tilde{A}_k), zaman aktivite eğrisinin altında kalan alandan elde edilir. Alan, eğriye uygun bir üstel denklem ile zamana bağlı integralin alınması, yamuk integrali ya da Riemann entegrasyonu gibi çeşitli yöntemlerle hesaplanabilir.

Kemik ve kemik iliği için kullanılan S değerleri olarak (ICRP raporu 30, MIRD kitapçıkları, MIRDOSE2, MIRDOSE3 ve OLINDA/EXM) aynı anatomik veri kaynağı kullanılır.

1. Kemik İliğinin Kendisindeki Aktiviteden Kaynaklanan Doz ($\bar{D}_{BM \leftarrow BM}$);

$$\begin{aligned} \bar{D}_{BM \leftarrow BM} &= \bar{D}_{BM \leftarrow ECF} + \bar{D}_{BM \leftarrow BLcells} + \bar{D}_{BM \leftarrow BMcells} \\ &= (\tilde{A}_{ECF} + \tilde{A}_{BLcells} + \tilde{A}_{BMcells}) \cdot S_{BM \leftarrow BM} \end{aligned}$$

$\bar{D}_{BM \leftarrow ECF}$, Ekstrasellüler Sıvı Aktivitesi

Kan yöntemi, kemik iliği içindeki ekstrasellüler boşluktaki aktivite konsantrasyonunun, plazmadaki aktivite konsantrasyonuna eşit olduğu varsayımına dayanır. Bu nedenle kemik iliğindeki aktivite konsantrasyonu, 0,19'a eşit olduğu varsayılan kırmızı ilik ekstrasellüler

sıvı fraksiyonu ile plazmadaki aktivite konsantrasyonu ile hesaplanabilir (RMECFF=0,19).

$$\bar{D}_{BM \leftarrow ECF} = [\tilde{A}_{plazma}] \cdot RMECFF \cdot m_{BM, fantom} \cdot S_{BM \leftarrow BM}$$

\tilde{A}_{plazma} ; kümülatif aktivite, zaman aktivite eğrilerinden hesaplanır.

Bu yöntemde hastaya özel kemik iliği kütlelerinin tespit edilmesi gerekli değildir. Bu nedenle, hastaya özel bir S değeri yerine fantomlar için belirlenmiş $S_{BM \leftarrow BM}$, değerleri kullanılabilir.

$\bar{D}_{BM \leftarrow BLcells}$, Kan ve Kan Bileşenlerinin Aktivitesi

Kan ve kan bileşenlerinden kaynaklanan toplam aktivite, plazmada serbestçe dolaşan aktivite ile kan hücrelerindeki aktivite toplamıdır. Kandaki eritrosit hacmini gösteren hematokrit, eğer kan hücrelerinde spesifik bir aktivite tutulumu yoksa plazmada dolayısıyla kemik iliğindeki aktivite konsantrasyonunu hesaplamak için kullanılabilir.

Kemik iliğindeki aktivite konsantrasyonu, kandaki aktivite konsantrasyonundan kırmızı ilik-kan aktivite konsantrasyonu oranı (*red marrow-to-blood activity concentration ratio* - RMBLR) adı verilen bir faktörle tespit edilir. Farklı radyofarmasötikler için farklıdır.

$$[A]_{plasma} = \frac{[A]_{blood}}{1 - HCT}$$

$$\frac{[A]_{RM}}{[A]_{blood}} = RMBLR = \frac{RMECFF}{1 - HCT}$$

$$\bar{D}_{BM \leftarrow BLcells} = [\tilde{A}_{blood}] \cdot RMBLR \cdot m_{BM, fantom} \cdot S_{BM \leftarrow BM}$$

Sgouros (6) çalışmasında, radyoaktif madde ile işaretlenmiş monoklonal antikorların teorik araştırmasına dayalı olarak 0,36'lık bir RMBLR önermiştir. Bu değer, AAPM'nin önerdiği aralık (0,2-0,4) ile uyumludur. RMBLR'yi 1 kabul etmek, I-131 ve Lutesyum-177 peptidler için uygun bulunmuştur (4).

$\bar{D}_{BM \leftarrow BMcells}$, Kemik İliği Hücrelerindeki Aktivitenin Katkısı

Kemik iliği hücrelerindeki aktivite, kemik iliğinin farklı bölgelerindeki aktivitenin kantitatif görüntülenmesi yoluyla hesaplanır. Alınan görüntüler üzerinde uygun yerlere ROI'ler çizilir ve ROI'deki aktivite belirlenir.

En yaygın olarak sakrum veya lomber vertebradaki (L2-L4) aktivite belirlenir, bazı durumlarda üst humerus ve femur üzerindeki ROI'ler de kullanılabilir.

$$\bar{D}_{BM \leftarrow BMcells} = \tilde{A}_{ROI} \cdot S_{BM \leftarrow BM} / r_{ROI, BM}$$

Burada $r_{ROI, BM}$ ROI içindeki kemik iliği aktivitesinin tüm kemik iliği aktivitesine oranıdır. İskelet sistemindeki farklı bölgelerin yüzde kemik iliği miktarı Tablo 1'de verilmektedir.

2. Kemikteki Aktivitenin Katkısı ($\bar{D}_{BM \leftarrow bone}$)

Kemikteki aktivite, eğer aktivite sadece kemikte mevcutsa tüm vücut üzerindeki bir ROI'den veya sol ve sağ femur gibi tek kemiklerin etrafına çizilen ROI'lerden (rROI, bone) belirlenebilir. Bu ROI'lerden kadın ve erkekler için ayrı ayrı belirlenmiş olan yüzde oranlar kullanılarak bireysel olarak kemiklerdeki aktivite belirlenir.

Kırmızı iliğe absorbe doz, radyonüklidin kemik içindeki uzaysal dağılımına bağlıdır.

$$\bar{D}_{BM \leftarrow bone} = \tilde{A}_{bone} \cdot S_{BM \leftarrow bone} / r_{ROI/bone}$$

ICRP 30 raporunda, kullanımdaki radyonüklidin fiziksel yarılanma ömrü 15 günden uzun ve fiziksel yarılanma ömrü daha az ise aktivitenin kemik hacmine eşit olarak dağıldığı varsayılır.

3. Ana Organ ve Vücudun Diğer Kalanındaki Aktivite

$$(\sum \bar{D}_{BM \leftarrow k}) + \bar{D}_{BM \leftarrow RoB}$$

Ana organlardan gelen doz, kemik iliğine verilen toplam absorbe doza önemli ölçüde katkıda bulunur. Kaynak

bölgesindeki (k) kümülatif aktivite, görüntülemelerden elde edilip ilgili S değeri ile çarpılır.

$$\bar{D}_{BM \leftarrow k} = \sum_k \tilde{A}_k \cdot S_{BM \leftarrow k}$$

Vücudun geri kalanı için kümülatif aktivite, tüm vücut için kümülatif aktivite ile vücudun geri kalanı hariç tüm kaynak bölgelerindeki kümülatif aktivitenin çıkarılması ile hesaplanır.

$$\bar{D}_{BM \leftarrow RoB} = (\tilde{A}_{WB} - \sum_k \tilde{A}_k) \cdot S_{BM \leftarrow RoB}$$

Tüm Vücuda Absorbe Radyasyon Dozu (\bar{D}_{WB})

Tüm vücuda absorbe edilen doz, genellikle kemik iliği için absorbe edilen dozun yerine kullanılır ve absorbe doz ile kemik iliği üzerindeki toksik etki arasındaki ilişkinin araştırılmasında bu doz dikkate alınır. Aktivitenin düzgün dağıldığı varsayılarak, tüm vücuda absorbe edilen ortalama dozun hesaplanması basitleştirilecektir.

$$\bar{D}_{BM} \approx \bar{D}_{WB} = \tilde{A}_{WB} \cdot S_{WB \leftarrow WB} \cdot \frac{[m]_{WBphantom}}{[m]_{WBpatient}}$$

Tüm vücuda absorbe edilen ortalama doz, tüm vücuttaki aktivite ölçümlerinden hesaplanmalıdır. Fantom için S değeri, tüm vücut ağırlığına göre normalize edilmelidir.

Sonuç

Kemik iliği, radyonüklit tedavilerde doz kısıtlayıcı organ olup, toksisite riskinin minimize edilmesi oldukça önemlidir. Kan bazlı dozimetri yöntemi ile bireysel hasta bazında en yüksek güvenli aktivitenin belirlenmesi sağlayarak toksisite riski azaltılır. Lezyon hacmi tespitine gerek duymadan uygulanabilmesi ve düşük aktivite kullanılması avantaj sağlamaktadır. Alternatif olarak PET, PET/BT, SPECT/BT ve Monte Carlo simülasyonları gibi ileri dozimetri yöntemleri de kullanılabilir. Sonuç olarak, kan bazlı yöntem güvenli ve etkili bir yaklaşımdır ve hematolojik toksisiteyi en aza indirerek tedavi etkinliğini artırmaktadır.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Tablo 1. Bir yetişkindeki kemik iliği yüzdeleri

Kemik bölgesi	Kemik iliği yüzdesi
Kranyum	7,6
Mandibula	0,8
Skapula	2,8
Klavikula	0,8
Sternum	3,1
Kosta	16,1
Servikal vertebra	3,9
Torakal vertebra	16,1
Lomber vertebra	12,3
Sakrum	9,9
Kalça kemiği	17,5
Femur üst yarısı	6,7
Humerus	2,3

Kaynaklar

1. Benua RS, Cicale NR, Sonenberg M, Rawson RW. The relation of radioiodine dosimetry to results and complications in the treatment of metastatic thyroid cancer. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med.* 1962;87:171-182.
2. Leeper RD. Thyroid cancer. *Medical Clinics of North America.* 1985;69:1079-1096.
3. Kabasakal L. Teranostik yaklaşımın atası: radyoaktif iyot “radyonüklit tedavi için bir prolog”. *Nuclear Medicine Seminars / Nükleer Tıp Seminerleri.* 2015;2:85-91.
4. Hindorf C, Glatting G, Chiesa C, Lindén O, Flux G; EANM Dosimetry Committee. EANM Dosimetry Committee guidelines for bone marrow and whole-body dosimetry. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2010;37:1238-1250.
5. Lassmann M, Hänscheid H, Chiesa C, et al. EANM Dosimetry Committee series on standard operational procedures for pre-therapeutic dosimetry I: blood and bone marrow dosimetry in differentiated thyroid cancer therapy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2008;35:1405-1412.
6. Sgouros G. Bone marrow dosimetry for radioimmunotherapy: theoretical considerations. *J Nucl Med.* 1993;34:689-694.