



DERLEME/REVIEW

TARE Tedavilerinde CBCT ve SPECT/CT Doz Uygulama Korelasyonu

CBCT and SPECT/CT Dose Application Correlation in TARE Treatments

Serdar Davran¹, Ferhat Can Pişkin², Ebru Şimşek², Hıdır Şimşek²

¹Çukurova Üniversitesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Adana, Türkiye

²Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Dahili Tıp Bilimleri, Radyoloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye

ABSTRACT

Our study aimed to investigate the correlation between Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Single Photon Emission Computed Tomography/X-Ray Computed Tomography (SPECT/CT) dose application in Tare treatments. The features and usage advantages of CBCT and SPECT/CT, which are common methods used to examine the effectiveness of microalbumin aggregate (MAA) used in transarterial radioembolization (TARE) treatments, were examined. The dose applications of CBCT and SPECT/CT were evaluated in the light of literature studies. In recent years, it can be said that with the advanced applications and developing technology, it is beneficial to make plans in a way that will provide maximum effect and minimum side effects to patients. In recent years, studies have shown that there is a correlation between CBCT and SPECT/CT and that when planned together, the efficiency rate increases. CBCT is an important treatment support system in TARE treatments and helps to perform the treatment effectively and reliably. In addition, it is thought that supporting dual planning strategies with artificial intelligence-supported studies will minimize the indications that may occur in the form of treatment.

Keywords: TARE, CBCT, SPECT/CT, correlation

ÖZET

Çalışmamızda Tare tedavilerinde Cone Beam Computed Tomography (CBCT)'nin ve Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi/X-Işını Bilgisayarlı Tomografi (SPECT/CT) doz uygulama korelasyonunun incelenmesi amaçlanmıştır. Transarterial radyoembolizasyon (TARE) tedavilerinde kullanılan mikroalbümin agregat (MAA) ile etkinliğini incelemek için kullanılan yaygın yöntemlerden CBCT ve SPECT/CT'nin özellikleri ve kullanım avantajları yönünden incelenmiştir. CBCT ve SPECT/CT'nin doz uygulamaları arasında yapılan literatür çalışmaları ışığında değerlendirilmiştir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile ileri seviye uygulamalar ile hastalarda maksimum etki minimum yan etki olacak şekilde planlamalar yapılarak fayda sağladığı söylenebilir. Çalışmalarda son yıllarda CBCT ve SPECT/CT arasında korelasyon bulunduğu birlikte planlandığında verim oranının arttığı görülmüştür. TARE tedavilerinde CBCT önemli bir tedavi destekleyici sistem olup tedavinin etkin ve güvenilir bir şekilde yapılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca ikili planlanma stratejilerinin yapay zeka destekli çalışmalar ile desteklenmesi tedavi şeklinde oluşabilecek endikasyonları minimize edeceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: TARE, CBCT, SPECT/CT, korelasyon.

Giriş

Radyoembolizasyon (RT) çalışmalarında hangi görüntüleme yönteminin kullanılacağına belirlenmesinde; kontrastlı bilgisayarlı tomografi (CECT), ^{99m}Tc-MAA-SPECT/BT veya konik ışın BT (CBCT), hem nihai hedef hacmini (TgV) hem de her bir modalitenin dozimetrik hesaplamadaki etkisini daha doğru bir şekilde tahmin edilmiştir^{1,2}. Benzer şekilde, CBCT, toplam veya lobar uygulamalarda TgV'yi tanımlamak için yararlı bir yöntem olarak önerilmiştir^{3,4}. Deformasyon yaklaşımı ayrıca yüksek kaliteli önceki BT görüntülerinden tahmini CBCT görüntülerine doğru Hounsfield birimlerini (HU) aktarabilir ve böylece radyasyon terapisi için daha doğru doz hesaplamalarına olanak tanır. Çözülen deformasyon alanı ayrıca tümör takibi, doz birikimi, adaptif radyasyon tedavisi ve fonksiyonel görüntüleme için de kullanılması mümkündür⁵.



Transarterial radyoembolizasyon (TARE)

TARE, radyoaktif materyalin güvenli bir şekilde uygulanmasını sağlamak için kapsamlı bir ön prosedür planlaması gerektirmiştir. Aday tümör besleme damarlarını belirlemek ve hepatopulmoner şant fraksiyonunu ölçmek için teknesyum makroagregat albüminin (^{99m}Tc -MAA) seçici enjeksiyonuyla anjiyografi planlaması yapılmıştır⁴.

TARE, tanısal anjiyografi sırasında tanımlandığı gibi uygun hepatik artere uygulanan ^{90}Y -mikroküreler (SIR-Küreler; SIRTEx Medical Limited, Lane Cove, Avustralya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doz hesaplaması vücut yüzey alanı yöntemi kullanılarak yapılmıştır⁶.

Mikroalbümin agregat (MAA)

Biyolojik olarak parçalanabilir parçacıklarla işaretli akciğer perfüzyon sintigrafisi (Tc - 99m makro agregat albümin [MAA]), pulmoner bölgesel perfüzyonun değerlendirilmesinde önemli bir tanı aracıdır⁷. Agregaların boyutu, pH ve kullanılan tampon çözeltilerinin türlerinin yanı sıra albümin ve tampon konsantrasyonlarının etkili olduğu görülmüştür⁸. Birçok farklı araştırmacı tarafından MAA kullanımı literatürde mevcuttur⁹⁻¹³. ^{90}Y -Brem SPECT/CT'den elde edilen TNR çoğu zaman düşük tahmin düzeyine sahiptir. Sonuçların pozitif korelasyonlu olduğu ve MAA SPECT/CT'den elde edilen TNR'den daha az değişkendir⁹. MAA'nın farklı boyutlarda ve prosedürlerde radyoetiketlenmesinin yüksek verimlilikle mümkündür. Ayrım yapmayan MAA bağları, bu ilacı farklı radyoizotoplar ile radyoetiketleme veya çift etiketleme için uygun hale getirmektedir¹⁰.

Cone Beam Computed Tomography (CBCT)

CBCT tekniği, X-ışını kaynağının ve ileri geri hareket eden dedektör dizisinin eş zamanlı olarak hastanın başının etrafında hareket ettiği ve baş tutucu ile sabitlenen tek bir 360° tarama ile yuvarlak veya dikdörtgen koni şeklindeki bir X-ışını demetinin kullanılmasından oluşur¹⁴. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), karaciğerin, vasküler anatomisinin ve tümör iyileşmesinin yüksek kaliteli kesitsel görüntülerini sağlayan bir işlem içi görüntüleme tekniğidir. Transkateter tedavi planlaması ve uygulaması sırasında gerçekleştirilen CBCT'nin, HCC için radyoembolizasyon (TARE) gibi tedaviler uygulanmıştır. Tümör tespitini, kateter navigasyonunu, mikrosfer dağılımının tahminini ve tedavi yanıtını iyileştirmiştir⁴. Farklı alanlarda CBCT kullanımına yönelik literatür çalışmaları bulunmaktadır¹⁵⁻¹⁸.

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT), sert doku yapılarının doğru, üç boyutlu (3B) görüntülenmesini sağlayan bir radyografik görüntüleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. CBCT, son zamanlarda ortaya çıkan tıbbi tanı görüntüleme modaliteleri arasında en önemlisidir. Bu görüntüleme modalitesi, daha kısa tarama süreleri ile (~60 sn) daha yüksek tanı kalitesinde milimetrenin altındaki çözünürlükte (2 çizgi çifti/mm) görüntüler sağlama yeteneğine sahiptir. CBCT'den kaynaklanan radyasyon maruziyeti dozu, maksillofasiyal maruziyet sırasında geleneksel BT taramalarına göre 10 kat daha azdır (geleneksel BT'nin 600 μSv 'sine kıyasla 68 μSv) ve ayrıca büyük bir boyutsal doğruluğa sahiptir¹⁴.

Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT/CT)

Uzun yıllardır, Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi/X-ışını Bilgisayarlı Tomografi (SPECT/BT), Nükleer Tıpta yerleşik bir görüntüleme tekniğidir¹⁹. Saçılma düzeltme ve çözünürlük modellemesindeki yazılım iyileştirmeleriyle birlikte, SPECT/CT giderek daha fazla niceliksel bir modalite olarak kabul edilmiştir²⁰.

Bir SPECT kameranın ana bileşenleri kolimatörler, fotomultiplierler tarafından okunan sintilasyon kristalleri (çoğunlukla talyum, $\text{NaI}(\text{TI})$ ile katılanmış sodyum iyodür) ve sonraki elektroniklerdir. Bu bileşenler topluca dedektör olarak adlandırılmıştır. Bir veya daha fazla dedektör bir gantriye monte edilir ve dedektör kafalarının hareket etmesine izin vermektedir. Foton hassasiyeti ve maliyetler arasındaki denge nedeni ile çift dedektör kafalı kameralar hala klinik uygulamada standart olarak kullanılmaktadır. Tek veya üçlü dedektör kafalı kameralar ise daha nadir kullanıma sahiptir. SPECT/BT sistemi ayrıca doğru konumlandırma için bir hasta yatağı ve görüntü verilerinin edinimi, yeniden oluşturulması ve son işlenmesi için bilgisayarlar içermektedir. Genel olarak SPECT görüntü oluşumu çeşitli etkilerden olumsuz etkilenir. Bunların en

önemlileri foton saçılması, foton zayıflaması ve sınırlı mekansal çözünürlük nedeni ile oluşan kısmi hacim eserleridir¹⁹⁻²¹.

Tablo 1. Klinik tarayıcı, optimize edilmiş çift katmanlı tarayıcı ve prototip çift katmanlı tarayıcının özellikleri²⁰

Parametreler	Klinik	Optimize edilmiş	Prototip
Mobil	Hayır	Evet	Hayır
Dedektör Kafaları	2	1	1
*BT Edinimi	Ayrırmalı	Eş zamanlı	Eş zamanlı
Dedektör Yörüngesi	Vücut izlemeli	Parametrelili	Dairesel
Düz Panel Şanzımanı	-	65%	52%
Düz Panel Kalınlığı	-	2,0 cm	7,5 cm
Kolimatör	Paralel delik	Konik ışın	Konik giriş
*Gama Kamera FOV	53,3x38,7 cm ²	60x45 cm ²	40x24 cm ²

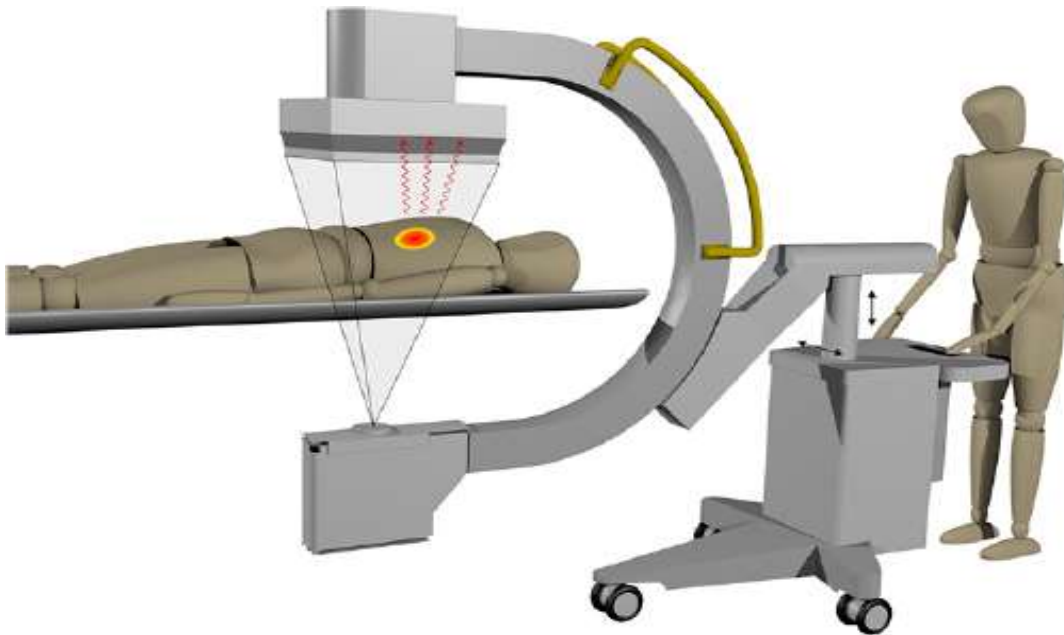
*BT: Bilgisayarlı tomografi, FOV: Görüş alanı

Klinik SPECT/CT

Klinik SPECT/BT tarayıcısı bir Symbia T16'dır (Siemens Healthineers, Erlangen, Almanya). Bu tarayıcının iki dedektör kafası bulunmaktadır. Düşük enerjili yüksek çözünürlüklü (LEHR) paralel delik kolimatörü (24,05 mm delik uzunluğu, 1,11 mm delik çapı ve 0,16 mm septum kalınlığı) ile monte edilmiştir. Vücut izleme yörüngesi gerçekleştirilebilir. Gama kameranın etkili FOV'u 53,3 × 38,7 cm²'dir. BT taraması her zaman SPECT taramasından ayrı olarak gerçekleştirilmektedir. İçsel mekansal çözünürlük yarı maksimumda 3,8 mm tam genişlikte (FWHM) ve enerji çözünürlüğü %9,9'dur (Tablo 1)²⁰.

Optimize edilmiş çift katman

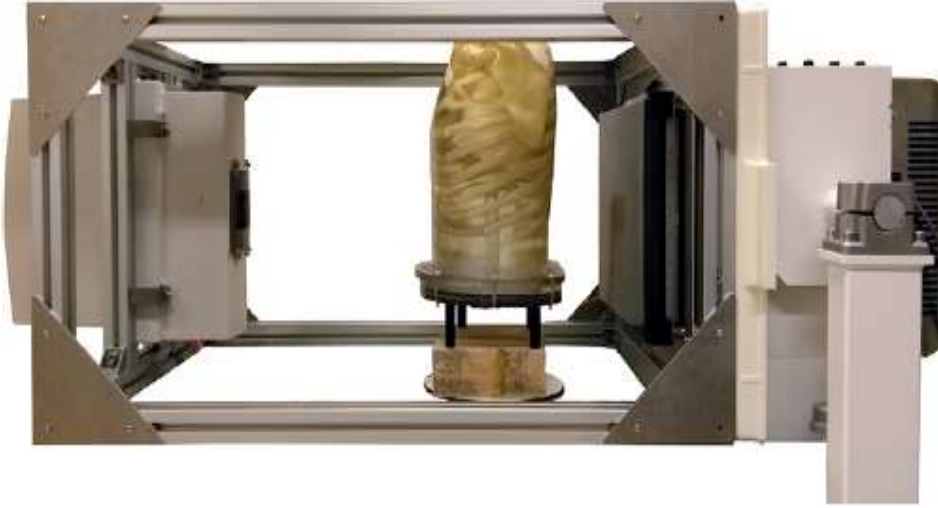
Düz panel dedektörü, 100 cm odak uzaklığına sahip konik ışınlı LEHR kolimatörü olan bir gama kamerasının önüne yerleştirilmiştir. X-ışını tüpü, nükleer ve floroskopik projeksiyonların aynı FOV'u yakalaması için kolimatörden 100 cm uzağa yerleştirilmiştir. X-ışınlarının çoğu düz panelde emilir. Gama fotonlarının ise nispeten daha yüksek enerjileri nedeni ile düz panelden geçme ve gama kamerası tarafından algılanma olasılığı daha yüksektir. Bu hibrit tarayıcı, kompakt yapılandırması nedeniyle özel bir C koluna monte edilmektedir (Şekil 1)²⁰.



Şekil 1. Optimize edilmiş çift katmanlı tarayıcının bir çizimi¹⁹.

Prototip çift katmanlı

Kullanılan düz panel, arka koruma plakasının kalınlığını azaltarak ticari olarak temin edilebilen bir üründen (Pixium 3040; Trixell, Moirans, Fransa) ayarlanmaktadır. Yaklaşık olarak 140 keV'de %52'lik bir gama iletim oranıyla sonuçlanır (Tablo 1). Düz panel kalınlığı 7,5 cm ve etkili FOV 38,2 x 29,6 cm² dir. Optimize edilmiş düz paneller (aşağıda görüldüğü gibi) fark, düz kabloları uzatarak dedektörün dışına adapte edilen baskılı devre kartı elektroniklerinden kaynaklanmaktadır; bu da daha kompakt bir dedektör muhafazasına olanak tanımaktadır (Şekil 2)²⁰.



Şekil 2. Prototip çift katmanlı tarayıcı

Yapılan bir çalışmada SPECT/CT ve CBCT'nin OM/ON lezyonlarını hassas bir şekilde tespit edebildiğini ancak ikincisinin morfolojik reaksiyonları daha kesin bir şekilde gösterme eğilimindedir. Kantitatif konular açısından, iki görüntüleme yöntemi arasındaki uzunluk ve genişliğin karşılaştırılması istatistiksel olarak aynı sonucu verdiği görülmüştür²³.

SPECT/CT sistemlerine örnek olarak, Siemens Intevo, bir CT sistemiyle birleştirilmiş iki gama kamera kafası, Philips BrightView XCT, düz panel dedektörlü iki gama kamera kafası, GE Discovery NM/CT 670, burada bir CT sistemi ile birleştirilmiş 90°'de yapılandırılmış iki gama kamera kafası şeklinde bulunmaktadır²⁴.

Kullanım özellikleri

Haritalama için teknesyum-99m makroagregat albüminin enjeksiyonu, daha önce tanımlanmış bir teknik olan TARE'nin beklenen yerinde gerçekleştirilmiştir. Seçici dijital çıkarma anjiyografisine (DSA) ek olarak, 99mTc-MAA enjeksiyonundan önce seçici hepatik arter enjeksiyonu sırasında planlama anjiyografi prosedürü sırasında çift fazlı kontrastla güçlendirilmiş OT-CBCT (XperCT, Philips Healthcare, Hollanda) edinimi kullanılmıştır. CBCT edinimi, tümör besleyen damarları belirlemek ve kolateral damar kan tedarikini dışlamak için tümörün tam olarak iyileştirilmesini sağlamak için kullanılmıştır^{4,25}.

OT-CBCT, simetrik standart CBCT'nin (CT-CBCT) + 120° ile -120°'si yerine düz panel dedektörün + 55° ile - 185°'si arasında asimetric bir C-kol rotasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Bu yörünge, hastanın sol tarafında daha fazla alan olmasını sağlayarak, anjiyografi masasının daha geniş bir şekilde çevrilmesini ve karaciğerin CBCT görüş alanında (FOV) ortalanmasını ve karaciğer parankimi görselleştirilmesinin tamamlanmasını mümkün kılmıştır. X-ışını projeksiyonları, 5,2 saniyelik bir görüntü edinme süresiyle saniyede 60 kare hızında hastanın etrafında 240°'lik bir rotasyon sırasında elde edilmiştir. X-ışını pozlaması, 48 cm'lik bir dedektör boyutu ve 4 x 4 piksel binning ile 120 kVp'lik bir voltajda gerçekleştirilmiştir. Ortalama 0,6 mm'lik bir voksel boyutuna sahip izotropik hacimsel veriler, özel bir girişimsel iş istasyonunda Feldkamp tomografi

rekonstrüksiyon algoritması kullanılarak edinilen X-ışını projeksiyon görüntülerinin otomatik olarak son işlenmesi ile üretilmiştir. Bunun sonucunda $250 \times 250 \times 194$ mm'lik bir FOV'ye sahip bir CBCT hacmi elde edilmiştir. CBCT, arteriyel ve portal venöz fazlar için sırasıyla enjeksiyondan 3 ve 20 saniye sonra toplam 8 ml hacim için 2 ml/s hızında tek bir seçici kontrast (iopamidol %76) enjeksiyonu sırasında gerçekleştirilmiştir⁴.

Tüm CBCT'ler, 10 saniyelik tarama gecikmesiyle 2 ml/s hızında 36 ml 50/50 konstat madde seyreltmesi (Ultravist 370, 370 mg iyot/ml; Bayer Schering Pharma, Berlin, Almanya) ve %0,9 sodyum klorür enjeksiyon protokolü ile standardize edilmiştir. Enjeksiyon, uygun şekilde uygun hepatik artere, sağ veya sol hepatik artere yerleştirilen 2,7 Fr mikrokater ile gerçekleştirilmiştir. Tam 200 derecelik dönüş 7 saniye sürdü. 125 kV sabit tüp voltajı ve 345–360 mA s'lik akım-zaman ürünü kullanılmıştır. Görüntüler, 4 mm'lik bir dilim genişliği ve aksiyel ve koronal düzlemde 3 mm'lik bir artışla yeniden oluşturulmuştur^{1,26}.

SPECT-BT taramasının en önemli avantajlarından biri, zayıflama düzeltmesi için BT taramasının kullanılmasıdır. Yeniden yapılandırılmış yalnızca SPECT görüntüleri, fotonların insan dokusunu geçerken zayıflaması nedeniyle görüntünün merkezinde aktivitede bir azalma göstermektedir. BT görüntüleme ile bir iletim haritası ve doku zayıflamasının düzeltmesi için kullanılabilir²⁷⁻²⁹.

4D-CBCT, radyoterapinin hassasiyetini önemli ölçüde artırmada, nihayetinde tümör kontrolünü iyileştirmede ve sağlıklı dokular üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmede çok önemlidir. Ancak 4D-CBCT tekniği hastanın solunum hareketlerini görüntülemeye odaklanır ve vücuttaki diğer hareketleri, örneğin kalp hareketlerini göz ardı eder. Bu, 4D-CBCT'nin hem solunum hem de kalp hareketlerinden etkilenen tümörlerin, örneğin kalbe yakın akciğer tümörlerinin hareket bilgilerini yakalama yeteneğini sınırlar^{20,30}.

Sonuç ve Öneriler

Her görüntüleme yönteminin kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. SPECT/CT, Mandibular osteomyelit (OM) ve septik osteonekroz (ON)'un gerçek aktivitesini yansıtan inflamasyon ve kemik metabolizmasının canlı görüntülenmesine olanak tanırken, CBCT ile karşılaştırıldığında nispeten daha yüksek radyasyon yükü ve maliyetlidir³¹.

Son birkaç on yılda, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) ve tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT/CT) gibi daha yeni üç boyutlu görüntüleme tekniklerini içeren teknik gelişmeler, SPECT/CT ve CBCT günlük klinik rutinde kullanılan standart tanı yöntemleri haline gelmiştir²³. Eş zamanlı yapılan bir çalışmada SPECT ve CBCT'nin elde edilmesinin daha olumlu yönleri verilmiştir. Bu, kompakt tarayıcı boyutu, içsel olarak kaydedilmiş SPECT ve CBCT rekonstrüksiyonları ve solunum hareketi düzeltme potansiyeli nedeni ile müdahale odasına iyi bir entegrasyonda avantajlara sahip olabilmektedir^{20,30}.

Yapılan farklı bir çalışmada akciğer organı üzerinde istatistiksel olarak Bio-CBCT-est tekniğinin 2D-3D deformasyon tekniğinden önemli ölçüde daha iyi ($p < 0,05$) sonuçlar vermiştir. Çalışmada Bio-CBCT-est tekniği baş ve boyun, karaciğer ve pelvis gibi diğer anatomik bölgelerdeki görüntü tahminine kolayca uygulanabilmesi mümkündür⁵.

Her görüntüleme sistemi kendi içinde avantajları bulursa da uygulama planlamasında oluşabilecek hataları en aza indirmek için yapay zekâ destekli çalışmaların yapılmasında fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca SPECT/CT ve CBCT destekli çalışmaların ülkemizde tedaviye olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. Kobe A, Zraggen J, Messmer F, Puipe G, Sartoretti T, Alkadhi H et al. Prediction of treatment response to transarterial radioembolization of liver metastases: Radiomics analysis of pre-treatment cone-beam CT: A proof of concept study. *Eur J Radiol Open*. 2021;8:100375.
2. Rodríguez-Fraile M, Ezponda A, Grisanti F, Morán V, Calvo M, Berán P et al. The joint use of 99m Tc-MAA-SPECT/CT and cone-beam CT optimizes radioembolization planning. *EJNMMI Res*. 2021;11:1-11.
3. Ertreo M, Choi H, Field D, Lischalk JW, Cohen E, Lynskey GE et al. Comparison of cone-beam tomography and cross-sectional imaging for volumetric and dosimetric calculations in resin yttrium-90 radioembolization. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2018;41:1857-66.

4. O'Connor PJ, Pasik SD, van der Bom IM, Bishay V, Radaelli A, Kim E. Feasibility of yttrium-90 radioembolization dose calculation utilizing intra-procedural open trajectory cone beam CT. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2020;43:295-301.
5. Zhang Y, Tehrani JN, Wang J. A biomechanical modeling guided CBCT estimation technique. *IEEE Trans Med Imaging.* 2016;36:641-52.
6. Lau WY, Kennedy AS, Kim YH, Lai HK, Lee RC, Leung TW et al. Patient selection and activity planning guide for selective internal radiotherapy with yttrium-90 resin microspheres. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2012;82:401-7.
7. Gandhi SJ, Babu S, Subramanyam P, Sundaram PS. Tc-99m macro aggregated albumin scintigraphy—Indications other than pulmonary embolism: A pictorial essay. *Indian J Nucl Med.* 2013;28:152-62.
8. Fukuoka M, Kobayashi T, Satoh T, Tanaka A, Akiko K. Studies of quality control of 99mTc-labelled macroaggregated albumin-Part 1. Aggregation of non-mercaptalbumin and its conformation. *Nucl Med Biol.* 1993;20:643-48.
9. Villalobos A, Cheng B, Wagstaff W, Sethi I, Bercu Z, Schuster DM et al. Tumor-to-normal ratio relationship between planning Technetium-99 macroaggregated albumin and posttherapy Yttrium-90 Bremsstrahlung SPECT/CT. *J Vasc Interv Radiol.* 2021;32:752-760.
10. Canziani L, Marengo M, Cavenaghi G, Manfrinato G, Taglietti A, Girella A, et al. Chemical and Physical Characterisation of Macroaggregated Human Serum Albumin: Strength and Specificity of Bonds with 99mTc and 68Ga. *Molecules.* 2022;27:404.
11. Chen G, Lu Z, Jiang H, Lin KH, Mok GS. Voxel-S-value based 3D treatment planning methods for Y-90 microspheres radioembolization based on Tc-99m-macroaggregated albumin SPECT/CT. *Sci Rep.* 2023;13:4020.
12. Tabotta F, Gnesin S, Dunet V, Ponti A, Digkila A, Boughdad S, et al. 99mTc-macroaggregated albumin SPECT/CT predictive dosimetry and dose-response relationship in uveal melanoma liver metastases treated with first-line selective internal radiation therapy. *Sci Rep.* 2023;13:13118.
13. Doyle PW, Workman CS, Grice JV, McGonigle TW, Huang S, Borgmann AJ, et al. Predictive Dosimetry and Outcomes of Hepatocellular Carcinoma Treated by Yttrium-90 Resin Microsphere Radioembolization: A Retrospective Analysis Using Technetium-99m Macroaggregated Albumin SPECT/CT and Planning Software. *J Vasc Interv Radiol.* 2024;35:689-98.
14. Kumar M, Shanavas M, Sidappa A, Kiran M. Cone beam computed tomography-know its secrets. *J Int Oral Health.* 2015;7:64.
15. Walter C, Schmidt JC, Rinne CA, Mendes S, Dula K, Sculean A. Cone beam computed tomography (CBCT) for diagnosis and treatment planning in periodontology: systematic review update. *Clin Oral Investig.* 2020;24:2943-58.
16. Fiore F, Somma F, D'Angelo R, Tarotto L, Stoia V. Cone beam computed tomography (CBCT) guidance is helpful in reducing dose exposure to pediatric patients undergoing radiofrequency ablation of osteoid osteoma. *Radiol Med.* 2022;127:183-90.
17. Alshomrani F. Cone-Beam Computed Tomography (CBCT)-Based Diagnosis of Dental Bone Defects. *Diagnostics.* 2024;14:1404.
18. Rashid A, Feinberg L, Fan K. The Application of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) on the Diagnosis and Management of Maxillofacial Trauma. *Diagnostics.* 2024;14:373.
19. Ritt P. Recent developments in SPECT/CT. *Semin Nucl Med.* 2022;52:276-85.
20. Dietze MM, Kunnen B, Van Der Velden S, Steenbergen JL, Koppert WJ, Viergever MA et al. Performance of a dual-layer scanner for hybrid SPECT/CBCT. *Phys Med Biol.* 2019;64:105020.
21. Römer W, Reichel N, Vija HA, Nickel I, Hornegger J, Bautz W, et al. Isotropic reconstruction of SPECT data using OSEM3D: correlation with CT. *Acad Radiol.* 2006;13:496-502.
22. Geworski L, Knoop BO, de Cabrejas ML, Knapp WH, Munz DL. Recovery correction for quantitation in emission tomography: a feasibility study. *Eur J Nucl Med.* 2000;27:161-69.
23. Malina-Altzinger J, Klaeser B, Suter VG, Schriber M, Vollnberg B, Schaller B. Comparative evaluation of SPECT/CT and CBCT in patients with mandibular osteomyelitis and osteonecrosis. *Clin Oral Investig.* 2019;23:4213-22.
24. Ritt P, Sanders J, Kuwert T. SPECT/CT technology. *Clin Transl Imaging.* 2014;2:445-57.
25. Lewandowski RJ, Sato KT, Atassi B, Ryu RK, Nemcek AA, Kulik L et al. Radioembolization with 90 Y microspheres: angiographic and technical considerations. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2007;30:571-92.
26. Kim, Y., Kim, C., Lee, E., & Lee, J. W. Coronal plane in opportunistic screening of osteoporosis using computed tomography: comparison with axial and sagittal planes. *Skeletal Radiology.* 2024;53:1103-9.
27. Karsmakers, L. H. E., Nolte, J. W., Rehmann, C., Rajmakers, P. G., & Becking, A. G. Diagnostic performance of SPECT-CT imaging in unilateral condylar hyperplasia. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2023;52:199-204.
28. Karsmakers, L. H. E., Besseling, L. M. P., Schoonmade, L. J., Su, N., Nolte, J. W., Rajmakers, P. G., & Becking, A. G. (2024). Diagnostic accuracy of bone SPECT and SPECT/CT imaging in the diagnosis of unilateral condylar hyperplasia: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery.* 2024;52:447-53.
29. Anzola, L. K., Venegas, N., Jaramillo, M. C., Moreno, S., Hinojosa, M., Amador, E., & Mut, F. Diagnostic Efficacy of Bone SPECT Techniques in Differentiating Unilateral and Bilateral Condylar Hyperplasia. *Diagnostics.* 2024;14:2548.
30. Zhang, Y., Jiang, Z., Zhang, Y., & Ren, L. (2024). A review on 4D cone-beam CT (4D-CBCT) in radiation therapy: Technical advances and clinical applications. *Medical physics.* 2024;51:5164-80.
31. Bailey DL, Willowson KP. An evidence-based review of quantitative SPECT imaging and potential clinical applications. *J Nucl Med.* 2013;54:83-89. doi: 10.2967/jnumed.112.111476.
32. Kim, J. Y., Lee, C., Park, Y. L., Lee, J. H., Ryu, Y. H., & Huh, J. K. Diagnostic criteria for temporomandibular joint osteoarthritis using standardized uptake value in single-photon emission computed tomography-computed tomography. *Scientific Reports.* 2024;14:31569.

Correspondence Address / Yazışma Adresi

Serdar Davran
Çukurova Üniversitesi
Adana, Türkiye
e-mail: serdarkilli@gmail.com

Geliş tarihi/ Received: 24.12.2024
Kabul tarihi/Accepted: 18.02.2025