

## Eksternal Radyoterapideki Doz Hesaplama Algoritmaları

Telat Aksu<sup>6</sup>

### Özet

Radyoterapi (RT), bilgisayar ve yapay zekadaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli olarak gelişen bir tedavi tekniğidir. Bu teknolojik gelişmeler sayesinde RT tedavi planlamalarında metodolojik ve pratik açılardan sürekli iyileştirmeler yapılmaktadır. Son yıllardaki en büyük gelişmeler doz hesaplama algoritmalarında yapılmıştır. RT'deki algoritmaların gelişmesiyle beraber yapılan tedavi planları gerçek doza daha çok yaklaşarak klinik sonuçlar ile daha uyumlu hale gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, RT kliniklerinde kullanılan başlıca doz hesaplama algoritmalarını incelemektir. Ayrıca, algoritmaların doz hesaplamalarında kullandıkları prensipleri özetleyip, güçlü ve zayıf yönlerini inceleyerek birbirleriyle karşılaştırmaktır. Bu konu hakkında net ve açık bir bakış sunulacaktır; bu da sağlık fizikçilerinin işlerini daha etkili ve verimli olarak yerine getirmelerine yardımcı olup, nihayetinde hasta sonuçlarını artıracak ve radyasyon tedavisi yönetiminin genel kalitesi iyileştirecektir.

### 1. Giriş

Eksternal Radyoterapideki teknolojik gelişmeler hedef hacme verilen dozun daha yüksek hassasiyetle tahmin edilmesine neden olur, böylece yan etkilerdeki kontrol oranını geliştirir. Modern RT tekniklerinin en önemli özelliği, tedavi kalitesini ve tutarlılığını elde etmek için doz hesabının en doğru şekilde yapılmasıdır (Aarup,2009).

Modern RT'deki en zorlu görevlerden birisi doz hesabını doğru ve hızlı bir şekilde yapılmasıdır. Doz hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılması tedavi kalitesini önemli bir şekilde etkileyebilir. 1970'lerin başlarından itibaren üç boyutlu doz hesaplamalarına (3D) geçilmiştir. Bilgisayar teknolojisinin

6 Dr, 19 Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi A.D, talataksu@gmail.com, 0000-0003-4588-0489

gelişimi doz hesaplama algoritmalarının daha doğru ve kısa sürede gerçeğe yakın sonuçları vermesine neden olmuştur (De Martino,2021).

Özellikle akciğer gibi heterojen dokularda ikincil parçacıkların ayrıntılı bir şekilde izlenmesi gerekmektedir. Bu görev oldukça vakit alabilir ve klinik pratiğinde çok vakit aldığı için gerçekleştirilemeyebilir. Bu nedenle, tedavi planlama sürecinde hangi algoritmanın kullanılacağı hastanın özelliklerine ve tedavi hedeflerine bağlı olarak dikkatlice belirlenmelidir (Cunningham,1972).

Bu çalışmanın amacı, farklı algoritmaların performanslarını ve kullanım alanlarını kapsamlı bir şekilde karşılaştırarak bu kararın doğruluğunu desteklemeyi hedeflemektedir. Bu sayede, radyoterapi alanında daha iyi ve etkili bir tedavi planlaması yapılabilir ve hastaların tedavi sürecindeki başarı oranları artırılabilir. Bu çalışma, radyoterapide kullanılan doz hesaplama algoritmalarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi konusunda önemli bir katkı sağlayacaktır (Fogliata,2006).

## 2. Tedavi Planlamasında Kullanılan Algoritmalar

Radyoterapideki en önemli aşama tedavi planlaması olup tümöre mümkün olan uygun doz verilirken riskli organ dozlarının mümkün olan en düşük dozu alması amaçlanmaktadır. Bu bölümde radyoterapideki tedavi planlamalarında kullanılan temel algoritmalar anlatılacak olup birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

### 2.1. Pencil Beam (PB) Algoritması

Tedavi Planlama Sistemlerinde (TPS) ve araştırma yazılımlarında ticari olarak çeşitli Pencil Beam (PB) Algoritmaları mevcuttur. Hesaplamalardaki süre ve doğruluğa göre değişik kompleksliğe sahiptir. Bu analitik hesaplamalar merkezi ışın eksenine dik lateral ve longitudinal derin doz dağılımı (DDD) tanımlayan her bir pencil beam in parametrelerine bağlı olarak yapılmaktadır (Fraass,2003).

DDD Monte Carlo (MC) hesaplamalarından elde edilir ve ölçümler ile doğruluğu kontrol edilir. PB Algoritması etkileşimin hepsinin pencil ışınının merkezinde olduğunu ve lateral saçılmanın homojen olduğunu farzeder; böylece inhomojen düzeltmeyi sadece longitudinal doğrultuda yapar. Bu da programı akciğer gibi inhomojen bir ortamda kullandığımızda oldukça farklı sonuçlar gösterip yanlış sonuçlar verebilir (Khan,1973).

### 2.2. AAA Algoritması

PB Algoritmalarından farklı olarak bu algoritmada inhomojen etkiyi hem longitudinal hem de lateral yönlerde hesaba katar. Bu algoritma ilk defa Varian

markasının ürettiği Eclipse TPS de kullanılmıştır. AAA modelinde karışık doku heterojenili uygulamalar da dahil olmak üzere PB algoritmasına göre daha hızlı ve daha güvenilir doz hesaplamaları yapmaya imkan sağlamaktadır (Kim,2020).

Doku heterojenitesini hesaplariken 3 boyutta düşünür ve 16 lateral doğrultuya kadar foton saçılma kernelini kullanıp anizotropik şekilde hesaplar ve en son doz modellemesini foton ile elektrondan gelecek katkıları da hesaba katar. AAA modellemesinin TPS lere yüklenmesi klinikteki rutin yapılan ölçümlerin MC ya uyarlanması ile yapılır (Knöös,2006).

TPS lerde doz hesaplamaları yapılırken kullandığımız parametreler genellikle su fantomlarından elde edilen yüzde derin doz ve lateral profil gibi ölçümler ile yapılırken en kesin sonucun hesabındaki ihtiyacımız olan parametrelerin tamamının bu yapılan ölçümlerle sağlanması oldukça zordur. Bu sorunu ortadan kaldırmak için hesaplamalardaki ihtiyaç duyulan parametreler MC simülasyonu ile hesaplanır ve klinikteki elde edilen verilere uyarlanır.

PB algoritması tek bir lateral doğrultudaki heterojeniteyi hesaba katarken, AAA algoritmasında 16 lateral heterojenite hesaba katıldığı için çok daha doğru sonuç vermektedir (Mackie,1988).

### 2.3. Monte Carlo (MC) Algoritması

Monte Carlo metodu analitik olarak çözülmesi zor problemlere bilgisayar ile istatistiksel örnekleme yaparak doğruya en yakın değeri bulmaya çalışan bir yöntemdir.

N. Constantine Metropolis'un bulduğu bu metotta, Los Alamos laboratuvarında Stanislav Ulam ve John Von Neuman' nın katkılarıyla daha da geliştirilerek nükleer silah üretme çalışmalarında kullanılmasıyla bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Ojala,2014).

Elde edilen bir değer ne kadar doğru olduğundan emin olmak istediğimizde genellikle Monte Carlo yöntemiyle karşılaştırıldığı için radyoterapinin de dozimetresinden kaynak üretimine ve planlama da dahil olmak üzere oldukça geniş alanda bir kullanıma sahiptir.

PB ve AAA yöntemiyle kıyaslandığında özellikle heterojen bir ortamlarda hesap yapılırken doğruya en yakın değer verir. Bu nedenle radyoterapi uygulamalarında Monte Carlo yöntemi referans olarak kabul edilir (Panettieri,2009).

Diğer yöntemlere göre üstün olmasının temel sebebi, radyasyonun madde ile etkileşiminde sistemin değişkenlerini simüle eder ve doğru sonucu elde edene kadar tüm olasılıkları hesaba katar (De Martino,2021).

Genel olarak bir parçacık hakkında bilgi istersek, ortamdan geçerken yaptığı etkileşimlerden sonra enerjisi bitene kadar aldığı menzildir. Parçacık soğrulup veya bulunduğu alanı terk edip ya da başka nedenlerde farklı durumlarda yok olabilir (De Martino,2021).

Diğer problemleri de başarılı bir şekilde çözdüğü gibi radyoterapide de oldukça başarılı bir yöntemdir. Çünkü parçacıkların tüm olasılıklarını matematiksel olarak doğru bir şekilde modelleyip her bir vokseldeki iyonlaşmaları toplayarak sonucu verir. Hesaplanan parçacık sayısı arttıkça model gerçeğe en yakın sonucu vermektedir. Bunun için yüksek hızlı bilgisayarlara ihtiyaç vardır (Richmond,2021).

### **3. Sonuç**

Doz hesaplama algoritmalarının son yıllardaki gelişmesi kliniksel tedavi doz belirsizliklerini ve hesaplama süresini azaltmayı amaçlamaktadır. ICRU'nun 24 nolu raporunda toplam dozdaki belirsizliklerin % 5' ten daha az olması önerilmektedir; bu doz hesaplama adımıdaki belirsizliğin % 2 - % 3 civarında olması anlamına gelir (De Martino,2021).

TPS'lerde kullanılan algoritmalara baktığımızda özellikle akciğer, kemik gibi heterojen ortamlarda PB algoritmasının doğru sonuç vermediği, AAA algoritmasının PB algoritmasına nazaran daha doğru sonucu verdiği, en doğru sonucu ise MC algoritması vermektedir (Richmond,2021).

Radyoterapide kullanılan algoritmalar ile ilgili temel bilgiler verilmiş olup, ihtiyaca göre hangi algoritmanın kullanılması gerektiğine kullanıcıların karar vermesi gerekmektedir.

## Kaynakça

- Aarup, L. R., Nahum, A. E., Zacharatou, C., Juhler-Nøttrup, T., Knöös, T., Nyström, H., ... & Korreman, S. S. (2009). The effect of different lung densities on the accuracy of various radiotherapy dose calculation methods: implications for tumour coverage. *Radiotherapy and oncology*, 91(3), 405-414.
- Cunningham, J. R. (1972). Scatter-air ratios. *Physics in medicine & biology*, 17(1), 42.
- De Martino, F., Clemente, S., Graeff, C., Palma, G., & Cella, L. (2021). Dose calculation algorithms for external radiation therapy: an overview for practitioners. *Applied sciences*, 11(15), 6806.
- Fogliata, A., Nicolini, G., Vanetti, E., Clivio, A., & Cozzi, L. (2006). Dosimetric validation of the anisotropic analytical algorithm for photon dose calculation: fundamental characterization in water. *Physics in Medicine & Biology*, 51(6), 1421.
- Fraass, B. A., Smathers, J., & Deye, J. (2003). Summary and recommendations of a National Cancer Institute workshop on issues limiting the clinical use of Monte Carlo dose calculation algorithms for megavoltage external beam radiation therapy. *Medical physics*, 30(12), 3206-3216.
- Khan, F. M., Levitt, S. H., Moore, V. C., & Jones Jr, T. K. (1973). Computer and approximation methods of calculating depth dose in irregularly shaped fields. *Radiology*, 106(2), 433-436.
- Kim, D. W., Park, K., Kim, H., & Kim, J. (2020). History of the photon beam dose calculation algorithm in radiation treatment planning system. *Progress in Medical Physics*, 31(3), 54-62.
- Knöös, T., Wieslander, E., Cozzi, L., Brink, C., Fogliata, A., Albers, D., ... & Lassen, S. (2006). Comparison of dose calculation algorithms for treatment planning in external photon beam therapy for clinical situations. *Physics in Medicine & Biology*, 51(22), 5785.
- Mackie, T. R., Bielajew, A. F., Rogers, D. W. O., & Battista, J. J. (1988). Generation of photon energy deposition kernels using the EGS Monte Carlo code. *Physics in Medicine & Biology*, 33(1), 1.
- Ojala, J. J., Kapanen, M. K., Hyödynmaa, S. J., Wigren, T. K., & Pitkänen, M. A. (2014). Performance of dose calculation algorithms from three generations in lung SBRT: comparison with full Monte Carlo-based dose distributions. *Journal of applied clinical medical physics*, 15(2), 4-18.
- Panettieri, V., Barsoum, P., Westermark, M., Brualla, L., & Lax, I. (2009). AAA and PBC calculation accuracy in the surface build-up region in tangential beam treatments. Phantom and breast case study with the Monte Carlo code PENELOPE. *Radiotherapy and oncology*, 93(1), 94-101.

Richmond, N., Angerud, A., Tamm, F., & Allen, V. (2021). Comparison of the RayStation photon Monte Carlo dose calculation algorithm against measured data under homogeneous and heterogeneous irradiation geometries. *Physica Medica*, 82, 87-99.