

## 3-D Jinekolojik Brakiterapide Radyolojik Bakış

Gülgün ENGİN

İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Radyoloji Anabilim Dalı, İstanbul

### Giriş

Uzun yıllar boyunca geleneksel radyografi, bilgisayarlı tomografi (BT) ve ultrason (US) brakiterapi (BRT) planlamada tercih edilen yöntemler olmuştur. Bununla birlikte son iki dekatda bu amaçla manyetik rezonans görüntüleme (MRG)'nin kullanımında artış dikkati çekmektedir.[1] MRG süperior anatomik detay ve çok planlı görüntüleme özellikleri ile 3 boyutlu (3B) BRT'de optimal yöntem haline gelmiştir.[2-4] Yüksek yumuşak doku kontrastı nedeniyle MRG ile tümörün normal dokudan ayırt etme özelliği çok yüksektir. Bununla birlikte BRT aplikatörlerinin görüntülenmesindeki zorluklar ve artefaktlara bağlı görüntüde bozulmalar aktif araştırma konusu olmaya devam etmektedir. MR görüntülerinin uzaysal doğruluğu çok önemlidir. Uzaysal doğruluktaki hatalar, direkt olarak kaynak lokalizasyonu ve hedef/organ çizimine yansımaktadır.[5]

Bu sunumda normal radyolojik anatomi, jinekolojik tümörlerde tanı ve BRT sırasında kullanılan MRG protokolleri, BRT planlamasında alternative radyolojik protokoller ve MRG sınırlamaları sunularak, çözüm önerileri tartışılmıştır.

### Normal Radyolojik Anatomi

Uterus pelvik kavitede derin planda yerleşim gösterir. Uterus ve serviks önde mesane, arkada rektum ile yakın komşuluktadır. Serviks 3,5 cm uzunlukta, silindirik şekilli yapıdır. Serviks internal orifis yoluyla en-

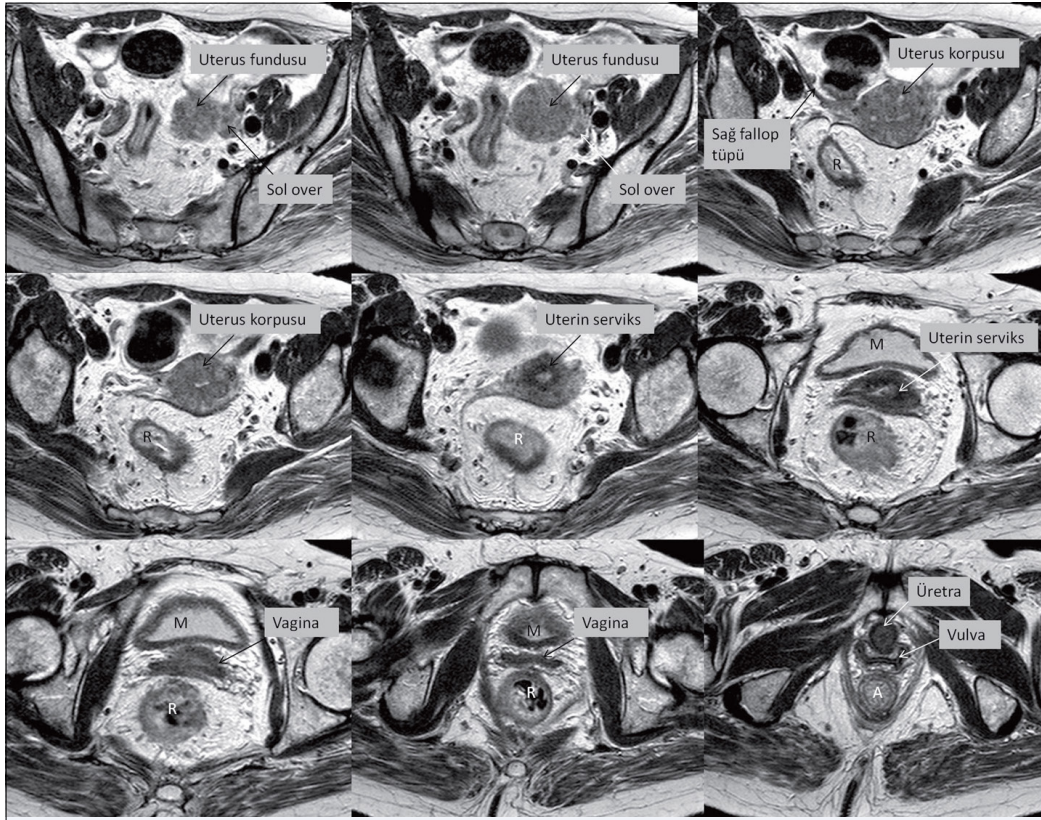
dometriyal kanalla, inferiorda eksternal orifis yoluyla vagina ile bağlantılıdır. Vagina 7-9 cm uzunlukta fibromuskuler tüptür. Önde üretra, arkada rektum ve anal kanal ile komşuluk gösterir (Şekil 1, 2).

T2A MRG'de uterusun normal zonal anatomisi üç farklı zon olarak ayırt edilebilir. Endometriyum yüksek sinyal intensitesi gösterir. Homojen düşük sinyal intensitesindeki bileşke zonu (geçiş zonu) ile çevrelenir. Bileşke zonu myometriyumun 1/3 iç takabasına aittir. Bu zon serviks fibroz stroması ile devamlılık gösterir. Dış myometriyum T2 ara sinyal intensitesindedir. Serviks dış intertisyel stroması ile devam eder (Şekil 3).

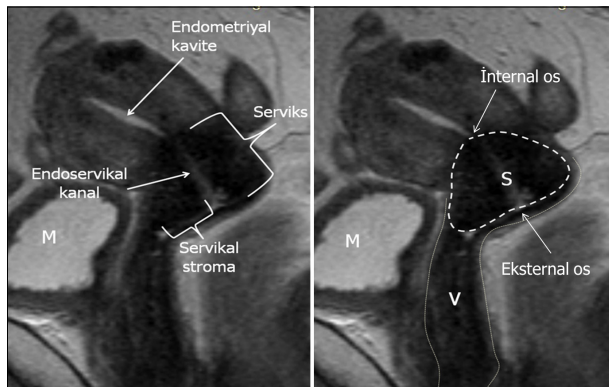
Normal serviks MRG'de sagittal planda silindirik, aksiyel planda yuvarlak şekilli yapı olarak görülür. Tipik olarak yüksek intensiteli servikal kanal, düşük intensiteli halka şeklinde servikal stroma ile çevrelenir. Yüksek intensite, servikal kanalı çevreleyen endoservikal mukoza ve sekresyonları gösterir (Şekil 2, 3). Serviks çevresinde dört forniks bulunur: iki lateral, anterior ve posterior.

Serviks vaginal bölümü ekzoserviks olarak isimlendirilir ve vagenin yassı epiteli ile döşelidir. Serviks üst üçte ikisi olan endoserviks ise endometriyumun kolumnar glandüler epiteli ile döşelidir. Adenokarsinom bu alandan kaynaklanır. Ekzoserviks ve endoserviks bileşkesi (=skuamokolumnar bileşke) serviks kanserin en sık geliştiği alandır.

Vagina üç anatomik segmente ayrılır: üst, orta, alt vagen. Sagittal T2A MRG ile vaginanın üç anatomik segmentini ayırt edilebilir. Bu segmentlerin ayırımı tümör lokalizasyonunun ve lenfatik drenajın belirlen-



**Şekil 1.** Transvers plan pelvik MR anatomisi. T2A aksiyel plan seri pelvik MRG görüntülerinde erişkin normal kadın pelvisine ait anatomik yapıların kesitsel anatomisi görülmektedir. R: Rektum; M: Mesane.

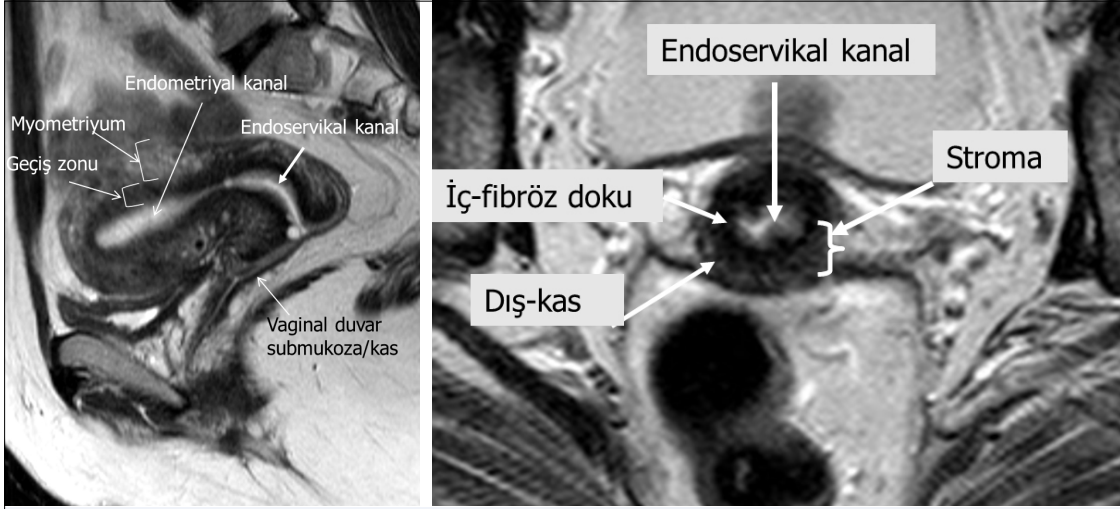


**Şekil 2.** Sagittal plan jinekolojik pelvik MR anatomisi. T2A sagittal plan pelvik MRG görüntülerinde erişkin normal kadın uterus ve serviksini sagittal plan anatomisi görülmektedir. Uterus önde mesane, arkada rektum ile yakın komşuluktadır. Endometriyal ve endoservikal kaviteler yüksek intensitelidir. Endometriyal kanal internal orifis yoluyla serviks ile, serviks ise eksternal orifis yoluyla vagina ile bağlantılıdır. Serviks stroması myometriyuma göre belirgin düşük intensitelidir. R: Rektum; M: Mesane; S: Serviks; V: Vagina.

mesi açısından önemlidir. Üst 1/3 vagen, vaginal forniksler düzeyindedir. Orta 1/3 vagen mesane tabanına bitişiktir. Alt 1/3 vagen mesane tabanının altında, üretra anteriorunda yer alır (Şekil 4). Teorik olarak, üst 1/3 vagen eksternal iliak ve paraaortik, orta 1/3 vagen ortak ve internal iliak ve alt 1/3 vagen yüzeyel inguinal, femoral ve perirektal nodal zincirlere drene olur.

MRG'de vaginal duvarların üç tabakası T2A görüntülerde görülebilir. Uterusun zonal anatomisine benzer: mukoza hiperintens, submukoza (kollagen ve elastik fibriller içerir) ve kas tabakası hipointens görülür. En dış tabaka olan adventisya iyi gelişmiş venöz pleksus nedeniyle hiperintensdir (Şekil 4).

Endometriyal kanser T2A MRG'de yüksek intensiteli endometriyuma göre heterojen ara intensitede görülür. Endometriyal kompleks ve iç myometriyuma sınırlı tümörler evre IA, dış myometriyuma uzanan tümörler IB olarak sınıflandırılır. Myometriyal invazyon derinliğinin değerlendirilmesinde MRG tanısı doğruluğu %55-77'dir. Difüzyon ve dinamik kontratlı sekanslar myometriyal invazyon değerlendirme doğruluğunu artırır (Şekil 5). Serviks kanseri T2A MRG'de dü-



**Şekil 3.** Uterus ve serviksin zonal anatomisi. Sagittal ve transvers plan T2A MRG'de uterusu üç ayrı zon görülür. Yüksek sinyal intensitesindeki endometriyum, homojen düşük sinyal intensitesindeki bileşke zon (geçiş zonu) ile çevrelenir. Bu zon serviksin fibroz stroması ile devamlılık gösterir. Dış myometrium T2 ara sinyal intensitesindedir. Serviksin kastan oluşan dış stroması ile devam eder.



**Şekil 4.** Vagina anatomisi ve segmentleri. Sagittal T2A MRG ile vaginanın üç anatomik segmenti (üst, orta, alt vagen) ayırt edilebilir. Üst 1/3 vagen, vaginal forniksler düzeyindedir. Orta 1/3 vagen mesane tabanına bitişiktir. Alt 1/3 vagen mesane tabanının altında, üretra anteriorunda yer alır. T2A MRG'de vaginal duvarlar: mukoza hiperintens, submukoza ve kas tabakası hipointens (ok) ve adventisya hiperintens görülür. M: Mesane.

şük intensiteli stromaya göre yüksek veya ara intensiteli alan olarak görülür. MRG'de tümör çevresinde düşük sinyal intensiteli stromal halkanın korunmuş olması, parametrial invazyonun olmadığını %94–100 doğrulukta gösterir[6] (Şekil 6). Vaginal kanser MRG'de T2A görüntülerde ara, T1A görüntülerde düşük intensiteli olarak görülür[7] (Şekil 7). Serviks kanserinde vaginal duvar invazyonunda düşük intensiteli duvar bütünlüğü bozulur (Şekil 6).

#### Jinekolojik Tümörlerde Tanı ve Brakiterapi Planlaması İçin MRG protokolü

Jinekolojik tümörlerin tanı, tedavi planlanması ve izleminde altın standart görüntüleme yöntemi MRG'dir.[2–4]

MRG için minimum gereklilik T2A SE/TSE sekans ile sagittal, para-aksiyel oblik (uterus uzun aksına dik) ve para-koronal oblik (uterus uzun aksına paralel) planlarda, pelvik yüzeyel sarmal ile 3–5 mm kesit kalınlığında incelemidir. Para-aksiyel sekansta parametriumun doğru değerlendirilmesi için kesit kalınlığı 3 mm olmalıdır. T1 (aksiyel oblik) ve difüzyon ağırlıklı sekanslar isteğe bağlı olarak eklenebilir. Serviks kanserinde İV kontrast rutin kullanımda gerekli değildir. İV kontrast para-aksiyel ve para-sagittal planlarda küçük boyutlu serviks tümörleri (3–5 mm) tanısı, lokal nüks fibrozis ayırıcı tanısı, endometriyal/myometriyal invazyon ve mesane/rektum invazyonunun değerlendirilmesi, endometriyum ve vaginal kanser tanı ve ev-

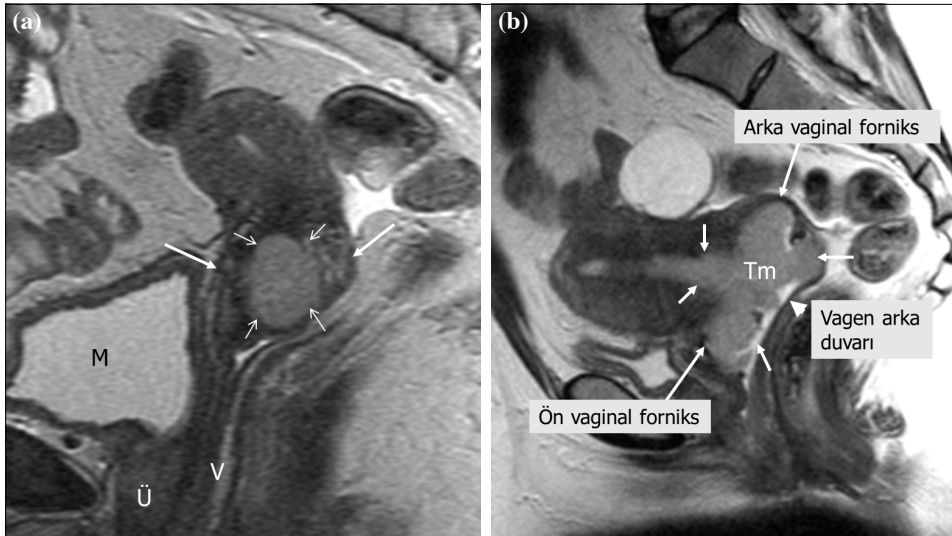


**Şekil 5.** Endometriyal adenokanser. (a) Endometriyal kanser T2A sagittal plan MRG'de, endometriyal kanalı doluduran, endometriyuma göre heterojen ara intensitede kitle olarak görülmektedir (oklar). Dış myometriyum invaze görünümündedir (Evre IB). (b) İV kontrastlı sagittal plan MRG'de tümör alanı, myometriyuma göre daha az kontrast tutmaktadır (oklar). (c) Difüzyon MRG'de ADC görüntülerde tümör alanında difüzyon kısıtlanmasına bağlı sinyal kaybı görülmektedir (oklar). İV kontrastlı ve difüzyon MRG sekansları, myometriyal invazyon derinliğinin değerlendirilmesinde T2A görüntülerin doğruluğunu artırır.

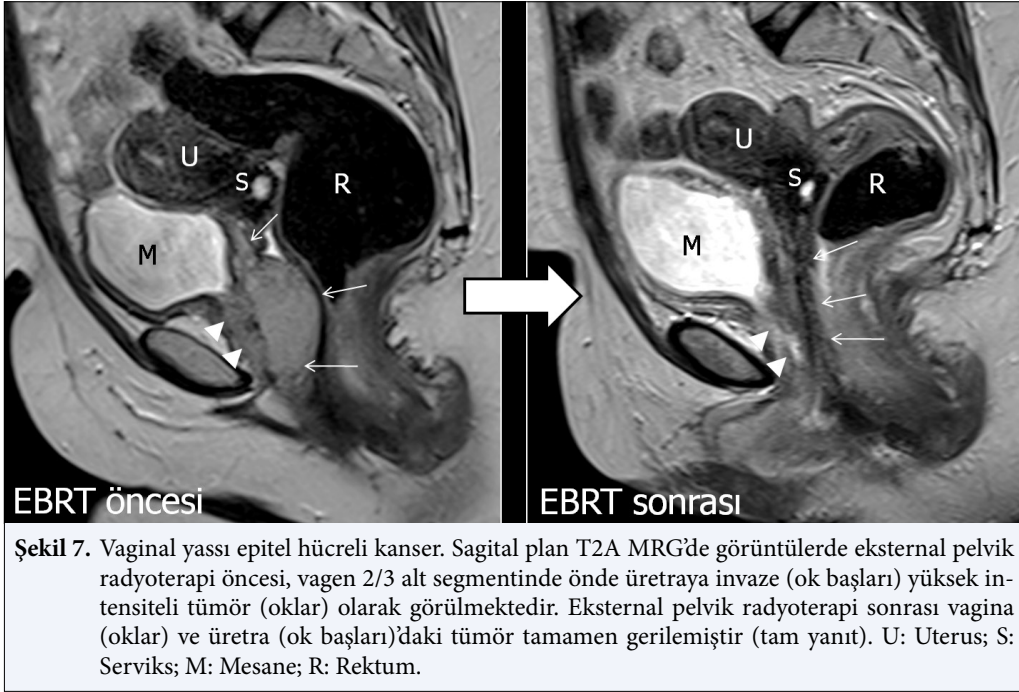
relemesinde kullanılır. Küçük tümörler serviks epiteli ve stromasına göre erken dinamik fazda belirgin olarak daha fazla kontrast tutarlar.[6]

Literatürde vaginal kontrast madde kullanımı ile ilgili konsensus yoktur. Genellikle serviks kanseri değerlendirilmesinde vaginaya ekzotitik uzanan tümörün vaginal fornikslerle ilişkisinin değerlendirilmesinde kullanılır. Vaginal kontrast madde olarak baryum, su veya US jeli kullanılabilir. Yaklaşık olarak 20–30 ml

ılık kontrast madde, 30–50 cc steril enjektör eşliğinde MR inceleme masasında pozisyon verilmiş olan hastaya uygulanır.[6] Mesanenin standart doluluğunu sağlamak için miksiyon sonrası boş mesaneye foley kateter ile 50 ml serum fizyolojik verilir. MR görüntü kalitesini arttırma amacıyla incelemeden 2 gün önce oral polietilenglikol ile barsak temizliği uygulanır. Barsak motilitesini azaltmak için MRG çekiminden hemen önce İM yolla antispasmodik ajan (N-butylscopolan) verilir. Ön



**Şekil 6.** Serviks yassı epitel hücreli kanseri. A) T2A sagittal plan MRG'de evre IB serviks kanseri, yüksek intensiteli endoservikal kitle (kısa oklar) olarak görülmektedir. Tümör çevresinde düşük sinyal intensiteli stromal halka korunmuştur (uzun oklar) (Evre IB). B) T2A sagittal plan MRG'de evre IIB serviks kanseri (kısa oklar), endoservikal kanaldan ekzotitik olarak ön ve arka vaginal fornikslere uzanmaktadır (uzun oklar). Arka 1/3 orta vaginal duvarın normal düşük intensiteli submukoza ve kas tabakası korunmuştur (ok başı).



**Şekil 7.** Vajinal yassı epitel hücreli kanser. Sagittal plan T2A MRG'de görüntülerde eksternal pelvik radyoterapi öncesi, vagen 2/3 alt segmentinde önde üretraya invaze (ok başları) yüksek intensiteli tümör (oklar) olarak görülmektedir. Eksternal pelvik radyoterapi sonrası vagina (oklar) ve üretra (ok başları)'daki tümör tamamen gerilemiştir (tam yanıt). U: Uterus; S: Serviks; M: Mesane; R: Rektum.

duvar hareketini azaltma için batin ön duvarına geniş elastik bandaj, hava-yağ arayüz sinyalinin azaltma için anterior pre-saturasyon bandı uygulanır.

Serviks karsinomunda sagittal görüntüler komşu organ invazyonunun değerlendirilmesini kolaylaştırır. Parakoronel görüntüler parametrial invazyon değerlendirilmesinde para-aksiyel görüntülere yardım eder. Vajinal forniks düzeyinde parsiyel volüm etkisini ortadan kaldırır.

### **Brakiterapi Planlaması İçin Görüntülemeye Radyolojik Protokoller**

Brakiterapi planlamasında GEC-ESTRO'nun altın standart yaklaşımı MRG'dir. Standart yaklaşımda EBRT öncesi ve BRT'nin tüm fraksiyonlarda MRG ile planlama uygulanmaktadır. RT öncesi ve BRT sırasında MRG kullanımı ile lokal kontrolde %20-25 artış, genel sağ kalımda %30 artış, normal doku toksisitesinde belirgin azalma (%10 vs %2) bildirilmektedir. Düşük yumuşak doku çözünürlüğü nedeni ile BT ile tümör genişliği olduğundan yüksek ölçülmektedir.[8,9]

Serviks kanserinde BRT planlamada MRG ve BT karşılaştırmalı çalışmalarda HR-CTV genişliği BT'de MRG'ye kıyasla belirgin büyüktür. Yükseklik ise BT'de MRG'den düşük ölçülmüştür. HR-CTV doz parametrelerinin yalnızca BT'ye dayalı teknikte MRG ile planlanandan düşük olduğu görülmüştür. Araştırmacılar BRT planlamada, en azından BRT öncesi (4 gün içinde)

veya sırasında tek bir MRG incelemesi ile tümör yaygınlığının değerlendirilmesini, böylece doğruluğun artacağını bildirmiştir.[10,11]

İngiliz çalışmasında tüm hastalara BRT'den 4 gün önce ve 1. fraksiyonda MRG kullanılarak, takip eden fraksiyonlarda BT/MRG hibrid ve yalnız MRG uygulanmıştır. 3 yıllık lokal kontrol, progresyonsuz genel sağ kalım ve genel sağ kalım oranları hibrid görüntüleme ve 3 fraksiyon konformal MRG'de sırasıyla %92.6%, %78.8%, and %77.7, %92.2, % 66.3%, 69.6% olarak bulunmuştur. Doz ve geç toksisite iki grupta karşılaştırılabilir olduğu bildirilmiştir.[12]

MRG maliyet, ulaşılabilirlik dışında, BRT'de kullanılan aplikatörlerin MRG görüntülerde oluşturduğu sorunları da beraberinde getirir. Isınma ve mekanik doku hasarlarından kaçınmak için aplikatörler MRG ile uyumlu olmalıdır. Bu amaçla metal olmayan (plastik) ve titanyum aplikatörler kullanılır. Aplikatörler MRG'de negatif kontrast veya sinyalsiz olarak görülür. Daha küçük çapta daha sağlam olan titanyum aplikatörler genellikle plastik aplikatörlere tercih edilir.

Titanyum aplikatörler MR ile uyumlu olmakla birlikte kullanılan sekansa (T2'de T1 sekansa göre daha fazla) ve artmış alan gücü (3 Tesla'da 1.5 Tesla'ya göre daha fazla) ile de ilişkili olarak duyarlılık (susceptibility) artefaktları oluşturur. Bu artefaktlar özellikle 3T MRG'de ve difüzyon ağırlıklı sekanslarda çok belirgindir. Bu artefaktlar özellikle aplikatörlerin daha kalın olduğu bölgelerde tipik olarak tandem, iğne, ovoid ve

ring uçlarında görülür. Bu artefaktlar nedeni ile oluşan metalik distorsiyonlar, aplikatörlerinin gerçek yerinde görüntülenmemesine neden olur. Ayrıca bu alanlarda sinyal kaybı veya sinyal yığılması ile görüntü kaybına neden olur.[13]

Fantom ve klinik çalışmalar geleneksel 2 boyutlu T2A FSE MR görüntülemenin aplikatör ve iğnelerin lokalizasyonunda, özellikle kesit kalınlığı  $\geq 4$  mm olduğunda yetersiz olduğunu göstermiştir.[14] Ancak çözüm için daha ince kesitli görüntü alınması, özellikle 1.5 T MRG'de sinyal/gürültü oranını azaltarak görüntü kalitesini azaltıcı etki gösterir. Bunun dışında proton ağırlıklı sekans gibi daha kısa eko sürelili (TE) sekanslar ile aplikatör daha iyi görüntülenebilir.[15] Ayrıca optimize edilmiş 3 boyutlu FSE (değişken flip açılı) sekanslar ile 10 dakika ve altında sürede, 3 boyutlu izotropik çözünürlük elde edilebileceğini gösteren çok sayıda çalışma mevcuttur.[16–19] Ancak bu çeşitli sekans önerilere rağmen hala BRT için özel standart bir sekans bulunmamaktadır.[20]

Brakiterapi aplikatörlerinin görüntülenmesinde artefakt dışında diğer sorun, aplikatörlerde kontrastın yokluğudur. MRG ile titanium aplikatörlerin daha iyi görüntülenmesi için aplikatörlerde sıvılardan (su, %50 glukoz, serum fizyolojik, zeytin yağı, gliserin, bakır sülfat, kobalt-klorid veya ultrason jeli vb) elde edilen kontrast ile aplikatör görünürlüğünün artırılmasına çalışılmaktadır. Bu pozitif kontrastlar intrakaviter aplikatör kaynak kanalına, aplikatör içi iyi sınırlı boşluklara, ring veya ovoid boşlukların içine doldurulabilir.[21] Ayrıca titanyum yerine MRG uyumlu metal olarak tungsten, titanyuma göre MRG'de daha yüksek dansite ve daha düşük duyarlılık gösterir. Dansite ve duyarlılık tungstende sırayla  $19.3 \text{ g/cm}^3$  ve 182 ppm, titanyumda ise  $4.54 \text{ g/cm}^3$  ve 77.2-80 ppm'dir.[13] Plastik intertisyel aplikatörlerin 3 Tesla MRG ile görüntülenmesinde de başarılı sonuçlar rapor edilmektedir.[22]

BRT planlamada MRG sınırlılığı durumunda MRG'ye alternatif olarak transrektal US da öneriler arasındadır. Pötter ve arkadaşlarının çalışmalarında 3B transrektal US'nin maksimum HR CTV ve hedef volüm görüntü kalitesinin BT'ye üstün, MRG ile karşılaştırılabilir olduğu bildirilmiştir.[23]

Sonuç olarak, MRG jinekolojik tümörlerin tanı, tedavi planlanması ve izleminde altın standart görüntüleme yöntemidir. Ancak BRT uygulamasında metal aplikatörlerle oluşan artefaktların azaltılması, MRG'de kaynak lokalizasyonu ve hedef/organ çiziminin doğruluğu açısından çok önemlidir. Artefaktları azaltmak için önerilen değişik MR sekanslarına rağmen, hala BRT için özel standart bir MRG sekansı bulunmamak-

tadır. Bu konu ve alternatif hibrid uygulamalar aktif araştırma konusu olmaya devam etmektedir.

### Kaynaklar

1. Grover S, Harkenrider MM, Cho LP, Erickson B, Small C, Small W Jr, et al. Image Guided Cervical Brachytherapy: 2014 Survey of the American Brachytherapy Society. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2016;94(3):598–604.
2. Dimopoulos JC, Petrow P, Tanderup K, Petric P, Berger D, Kirisits C, et al. Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (IV): Basic principles and parameters for MR imaging within the frame of image based adaptive cervix cancer brachytherapy. *Radiother Oncol* 2012;103(1):113–22.
3. Dimopoulos JC, Schard G, Berger D, Lang S, Goldner G, Helbich T, et al. Systematic evaluation of MRI findings in different stages of treatment of cervical cancer: potential of MRI on delineation of target, pathoanatomic structures, and organs at risk. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;64(5):1380–8.
4. Wachter-Gerstner N, Wachter S, Reinstadler E, Fellner C, Knocke TH, Pötter R. The impact of sectional imaging on dose escalation in endocavitary HDR-brachytherapy of cervical cancer: results of a prospective comparative trial. *Radiother Oncol* 2003;68(1):51–9.
5. Soliman AS, Owrangi A, Ravi A, Song WY. Metal artefacts in MRI-guided brachytherapy of cervical cancer. *J Contemp Brachytherapy* 2016;8(4):363–9.
6. Rauch GM, Kaur H, Choi H, Ernst RD, Klopp AH, Boonsirikamchai P, et al. Optimization of MR imaging for pretreatment evaluation of patients with endometrial and cervical cancer. *Radiographics* 2014;34(4):1082–98.
7. Parikh JH, Barton DP, Ind TE, Sohaib SA. MR imaging features of vaginal malignancies. *Radiographics* 2008;28(1):49–63.
8. Pötter R, Georg P, Dimopoulos JC, Grimm M, Berger D, Nesvacil N, et al. Clinical outcome of protocol based image (MRI) guided adaptive brachytherapy combined with 3D conformal radiotherapy with or without chemotherapy in patients with locally advanced cervical cancer. *Radiother Oncol* 2011;100(1):116–23.
9. Pötter R, Dimopoulos J, Georg P, Lang S, Waldhäusl C, Wachter-Gerstner N, et al. Clinical impact of MRI assisted dose volume adaptation and dose escalation in brachytherapy of locally advanced cervix cancer. *Radiother Oncol* 2007;83(2):148–55.
10. Wang F, Tang Q, Lv G, Zhao F, Jiang X, Zhu X, et al. Comparison of computed tomography and magnetic resonance imaging in cervical cancer brachytherapy:

- A systematic review. *Brachytherapy* 2017;16(2):353–365.
11. Fields EC, Weiss E. A practical review of magnetic resonance imaging for the evaluation and management of cervical cancer. *Radiat Oncol* 2016;11:15.
  12. Choong ES, Bownes P, Musunuru HB, Rodda S, Richardson C, Al-Qaisieh B, et al. Hybrid (CT/MRI based) vs. MRI only based image-guided brachytherapy in cervical cancer: Dosimetry comparisons and clinical outcome. *Brachytherapy* 2016;15(1):40–8.
  13. Soliman AS, Owraangi A, Ravi A, Song WY. Metal artefacts in MRI-guided brachytherapy of cervical cancer. *J Contemp Brachytherapy* 2016;8(4):363–9.
  14. Haack S, Nielsen SK, Lindegaard JC, Gelineck J, Tanderup K. Applicator reconstruction in MRI 3D image-based dose planning of brachytherapy for cervical cancer. *Radiother Oncol* 2009;91(2):187–93.
  15. Hu Y, Esthappan J, Mutic S, Richardson S, Gay HA, Schwarz JK, et al. Improve definition of titanium tandems in MR-guided high dose rate brachytherapy for cervical cancer using proton density weighted MRI. *Radiat Oncol* 2013;8:16.
  16. Dimopoulos JC, Petrow P, Tanderup K, Petric P, Berger D, Kirisits C, et al. Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (IV): Basic principles and parameters for MR imaging within the frame of image based adaptive cervix cancer brachytherapy. *Radiother Oncol* 2012;103(1):113–22.
  17. Mugler JP 3rd. Optimized three-dimensional fast-spin-echo MRI. *J Magn Reson Imaging* 2014;39(4):745–67.
  18. Takayama Y, Nishie A, Asayama Y, Ushijima Y, Fujita N, Shimamoto D, et al. Three-dimensional T2-weighted imaging for liver MRI: clinical values of tissue-specific variable refocusing flip-angle turbo spin echo imaging. *J Magn Reson Imaging* 2015;41(2):339–46.
  19. Petric P, Hudej R, Rogelj P, Logar BZ. 3D T2-weighted fast recovery fast spin echo sequence MRI for target contouring in cervix cancer brachytherapy. *Brachytherapy* 2008;7:109–110.
  20. McGee KP, Hu Y, Tryggstad E, Brinkmann D, Witte B, Welker K, et al. MRI in radiation oncology: Under-served needs. *Magn Reson Med* 2016;75(1):11–4.
  21. Sales CP, Carvalho Hde A, Taverna KC, Pastorello BF, Rubo RA, Borgonovi AF, et al. Evaluation of different magnetic resonance imaging contrast materials to be used as dummy markers in image-guided brachytherapy for gynecologic malignancies. *Radiol Bras* 2016;49(3):165–9.
  22. van Heerden LE, Gurney-Champion OJ, van Kesteren Z, Houweling AC, Koedooder C, Rasch CR, et al. Quantification of image distortions on the Utrecht interstitial CT/MR brachytherapy applicator at 3T MRI. *Brachytherapy* 2016;15(1):118–26.
  23. Schmid MP, Nesvacil N, Pötter R, Kronreif G, Kirisits C. Transrectal ultrasound for image-guided adaptive brachytherapy in cervix cancer - An alternative to MRI for target definition? *Radiother Oncol* 2016;120(3):467–472.