

Pelvik bölge radyoterapi uygulamalarında port film ve elektronik portal görüntülemenin karşılaştırılması

Comparison of electronic portal image and port film in pelvic irradiation

M. Gamze AKSU,¹ Nina TUNÇEL,¹ Musa ALTUN²

¹Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı; ²İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı

AMAÇ

Bu çalışmada elektronik portal görüntü (EPI) ve port filmlerinin, ayar 'set-up' hatalarını değerlendirmedeki etkinliği ve görüntü kaliteleri karşılaştırıldı.

GEREÇ VE YÖNTEM

Pelvik radyoterapi alan 20 hastaya ait toplam 40 EPI ve 40 port film değerlendirildi. Görüntü kalitesi, seçilen anatomik yapıların görülebilirliğine göre derecelendirildi; 'set-up' hataları ise koordinat sisteminin x, y ve z eksenlerinde hesaplandı. EPI ve port filmler görüntü kalitesi ve hesaplanan alan kaymaları yönünden karşılaştırıldı.

BULGULAR

Görüntü kalitesi port filmlerde EPI'ye göre anlamlı olarak daha iyi bulundu. Her iki görüntüleme tekniğinde de en iyi görülebilen anatomik yapılar; asetabulum, pelvik rimler ve Symphysis pubis idi. Ortalama 'set-up' kaymaları x, y ve z eksenlerinde sırasıyla port filmlerde 1.47, 2.51 ve 3.99 mm; EPI'de ise 2.16, 3.09 ve 3.81 mm idi. 'Set-up' hataları tüm yönlerde kabul edilebilir düzeyde olduğu halde en fazla alan kayması her iki görüntüleme yönteminde de z eksenindeydi.

SONUÇ

Elektronik portal görüntüleme çok yaygın olarak kullanılmakta ve port filmlerin yerini almaktadır. Elektronik portal görüntü kullanımı port filmine göre 'set-up' hatalarını daha hızlı ve pratik değerlendirme olanağı vermektedir. Ayrıca 'set-up' hatalarının tedavi öncesi düzeltilmesi ve görüntülerin dijital ortamda arşivlenmesi mümkündür. Ancak EPI'nin port filmlerine göre en önemli dezavantajı görüntü kalitesinin kötü olması nedeniyle anatomik yapıların net değerlendirilememesidir.

Anahtar sözcükler: Elektronik portal görüntüleme; pelvik radyoterapi; port film.

OBJECTIVES

In this study electronic portal images (EPIs) and port films were compared to detect set up errors and adequacy of image quality.

METHODS

In total 40 EPIs and 40 portal films from 20 patients receiving pelvic radiotherapy were evaluated. Image quality was graded by visibility of the selected anatomic landmarks and set-up deviations were examined in the x, y and z axes of the coordinate system. EPIs and port films were compared in terms of Image quality and shifts.

RESULTS

Visibility was significantly better for port films than EPIs. In both imaging techniques acetabulum, pelvic rims and symphysis pubis were more visible landmarks. Mean set-up displacements at the x, y and z axes were 1.47, 2.51 and 3.99 mm for port films; 2.16, 3.09 and 3.81 mm for EPIs respectively. Set-up errors were in acceptable levels in all directions, maximum errors were seen in z axis for both images.

CONCLUSION

Electronic portal imaging is used widely and takes places of port films. The use of EPI could provide more quick and practical evaluation of set-up errors than port films and also pre-treatment correction of set-up errors and digital storage of the images are possible.

However the major disadvantage of EPIs than port films is insufficient evaluation of the anatomical structures due to worse image quality.

Key words: Electronic portal imaging; pelvic radiotherapy; port film.

Radyoterapi uygulamalarında temel amaç, hedeflenen volümlere yüksek doz radyasyon verilirken, çevre normal dokuların olabildiğince korunmasıdır. Tanımlanan dozun, hedef volüme doğru olarak verilmesi tedavi başarısında temeldir.^[1] Tedavi alanındaki ayar (set-up) uyumsuzlukları, alan kenarında eksik doz oluşumuna neden olarak nüks riskini artırmaktadır.^[2-4]

Tedavi toleransını artırmak ve normal doku yan etkilerini azaltmak için planlanan tedavi volümünün mümkün olduğunca küçük olması hedeflendiğinden tedavi alanlarında oluşabilecek günlük hataları azaltmak gereklidir; bu da sık aralıklarla tekrarlanan portal görüntülemeler ile sağlanabilmektedir.

Portal görüntüleme; radyoterapi uygulanan alanın tedavi cihazında radyolojik olarak görüntülenmesidir. Portal görüntülemenin temel amacı radyoterapi tedavilerinde 'set-up' hatalarını saptamaktır. Tedavi alanının pozisyonu ile ilgili kalite güvenlik çalışmalarında, tedavi öncesinde veya sonrasında alınan radyolojik görüntülerle alan içi ve çevresindeki anatomik yapıların yerleşimi, simülasyon filmi ile karşılaştırılmaktadır. Portal görüntüleme amacıyla sıklıkla port filmler ve elektronik portal görüntü (EPI) kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Lineer hızlandırıcı cihazında pelvik eksternal radyoterapi uygulanması planlanan hastalarda tedaviye başlamadan önce alan ve 'set-up' kontrolü amacıyla çekilen port film ve EPI'ler; alan doğruluğunu değerlendirmedeki etkinlikleri, görüntü kaliteleri ve portal görüntülerin değerlendirilmesinde seçilecek referans anatomik noktalar açısından karşılaştırıldı.

GEREÇ VE YÖNTEM

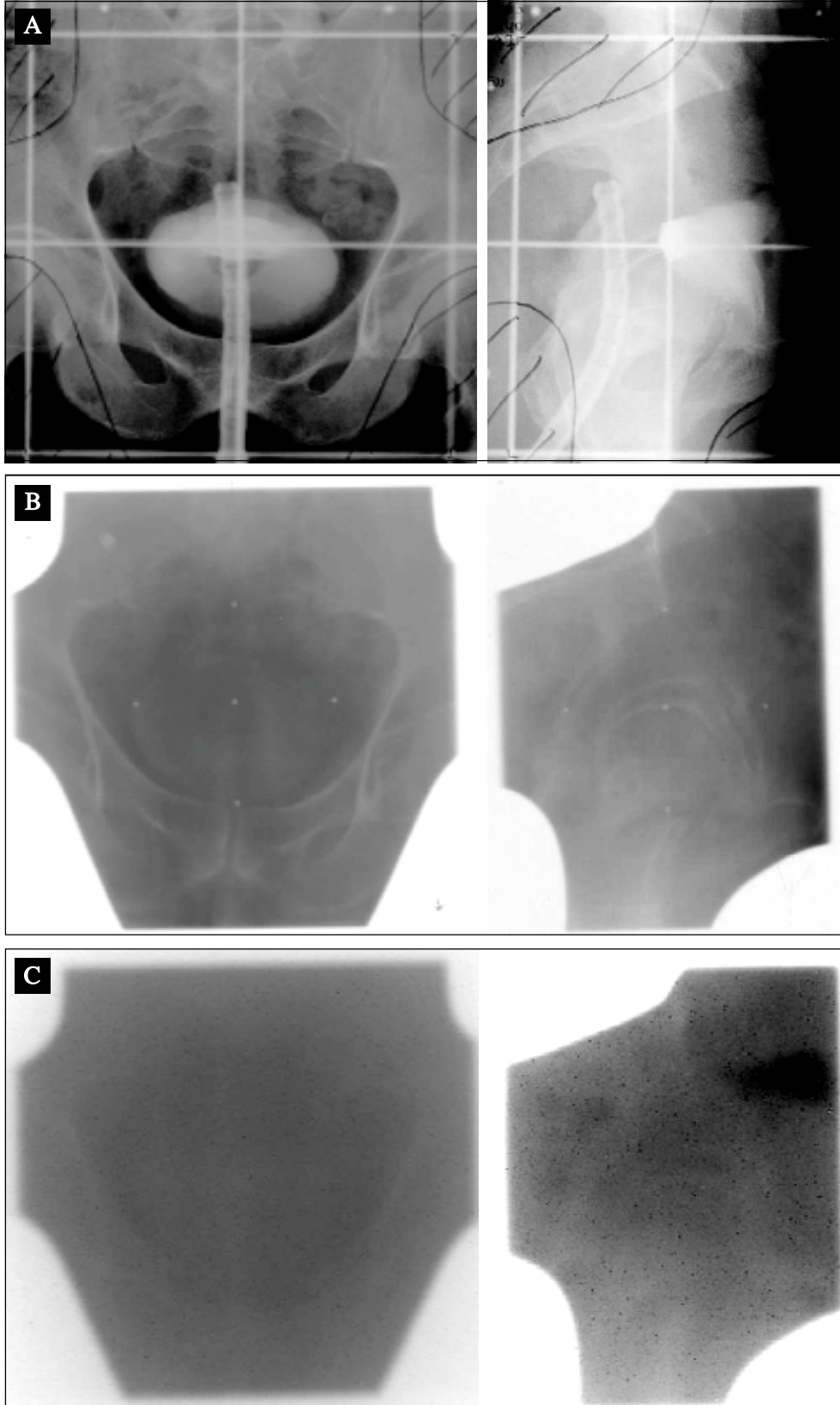
Kliniğimizde uygulanan portal görüntüleme protokolüne göre; Lineer hızlandırıcı cihazında tedavi uygulanacak tüm hastalarda ilk tedaviden bir gün önce port film ve EPI ile alan doğrulaması yapılmakta, belirlenen uyumsuzluklar düzeltildikten sonra tedaviye başlanmaktadır. Bu çalışmada 2002 yılında pelvis bölgesine radyoterapi uygulanan 20 hastanın simülasyon filmleri ile ilk tedavi öncesinde çekilen port film ve EPI'leri kullanıldı. Her hastanın anteroposterior (AP) ve sağ lateral

tedavi alanlarına ait 40 port film ve 40 EPI'si incelendi. Sekiz hastaya serviks karsinomu (CA), beş hastaya rektum CA, dört hastaya prostat CA, ve üç hastaya mesane CA tanıları ile radyoterapi planlandı. Hastalar sırt üstü yatırılarak sabitleme gereci kullanılmadan SLS-23 Sim-CT (Philips®, Eindhoven, Hollanda) cihazında simülasyon yapıldı. Anteroposterior, posteroanterior (PA), sağ ve sol lateral olmak üzere dört alandan (box) tedavi planlandı. Tedavi sınırları belirlendikten sonra hasta cildine alan sınırları ve sagittal, koronal, aksiyal (transvers) eksenlerde lazerler çizildi. Ayrıca alan merkezi ve iki köşesine tatuaj yapıldı.

Alan doğrulaması; hasta üzerinde çizilen lazer işaretleri ve tatuaj noktalarının yardımı ile 'set-up' yapıldıktan sonra, önce port filmler çekildi ve hemen ardından EPI alındı. Port filmler 35x43 cm Kodak EC-L (Kodak®, Cedex, Fransa) onkoloji filmi (portal görüntüleme için kuvvetlendirilmiş), Kodak EC-L onkoloji film kaseti ve kaset tutucu kullanılarak elde edildi. Alan merkezi ve x, y eksenlerini tanımlamak amacıyla, milimetrik kağıda 10x10 cm'lik bir referans alan çizilerek film kaseti üzerine yerleştirildi; bu referans alan üzerine de biri merkez ve dördü x ve y eksenlerinde olmak üzere beş adet küçük kurşun boncuk yapıştırıldı. Port filmler simülasyon filmleri ile aynı kaynak-kaset mesafesinde (SFD) ve 6 MVX foton enerjisi ile çekildi. Elektronik portal görüntüler ise Elekta SL 75 /5 iView (Elekta®, Crawley, West Sussex, İngiltere) cihazında alındı. Tüm filmler aynı kişi tarafından farklı zamanlarda ve birbirinden bağımsız olarak değerlendirildi. Port film ve EPI'lerin görüntü kalitesi, yerleşim hatalarını değerlendirmedeki farklılıklar ve filmleri değerlendirmede kullanılacak anatomik referans noktalar incelendi. Bir hastaya ait simülasyon filmi, port film ve EPI Şekil 1'de gösterilmiştir.

Port film ve EPI görüntü kalitelerinin değerlendirilmesi:

Anteroposterior ve lateral alanlar için simülasyon grafisinde sınırları net olarak değerlendirilebilecek altışar adet anatomik yapı seçildi. Anteroposterior alanda kullanılan anatomik bölgeler; S1 vertebra, sağ ve sol pelvik rim'ler, pubik kemik, sakroiliyak eklem, obturator foramenler,



Şekil 1. (A) Anteroposterior (AP) ve sağ lateral simülasyon filmi, (B) port film ve (C) elektronik portal görüntü.

Symphysis pubis; lateral alanlarda ise S1 vertebra, sakrum, asetabulum, femur başı, proksimal femur ve Symphysis pubis idi. Port film ve EPI'lerde net olarak görülebilen bu anatomik yapıların sayısına göre 1-6 arasında bir cetvel oluşturularak görüntü kalitesi değerlendirildi. Ayrıca hastaların ön-arka ve mediolateral kalınlığı ile görüntü kalitesi arasındaki ilişki incelendi.

Tedavi alanlarındaki yer değişimlerin değerlendirilmesi:

Tedavi alanlarının merkezi "cartesian" koordinat sisteminin merkezi olarak kabul edildi. Anteroposterior filmlerde mediolateral yön x eksenini, kraniokaudal yön y eksenini olarak, lateral filmlerde ise anteroposterior yön z eksenini, kraniokaudal yön y eksenini olarak tanımlandı. Koordinat sisteminde kraniyal ve sol lateral yönler (+); kaudal ve sağ lateral yönler (-), hasta anterioru (+), posterioru ise (-) yön olarak seçildi. Simülasyon filmlerinde AP alanlarda 10 adet, lateral alanlarda ise beş adet anatomik referans nokta belirlendi (Şekil 2, 3). Simülasyon filmi, port film ve EPI'de bu anatomik

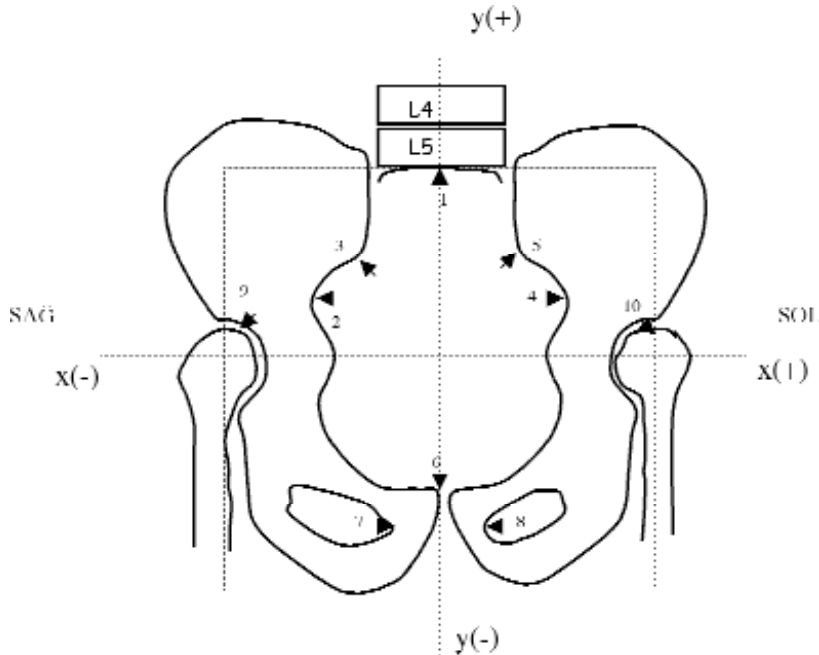
yapıların x, y, z koordinat değerleri ölçüldü. Elde edilen değerler filmlerin ve EPI'nin magnifikasyon katsayısına bölünerek gerçek değerleri hesaplandı. Port film ve EPI'deki koordinat değerinin simülasyon filmi ile farkları alınarak her nokta için ayrı ayrı yer değişim miktarları hesaplandı. Daha sonra her ekseninde, tüm noktaların kayma miktarlarının ortalaması alındı ve her bir eksenindeki ortalama kayma miktarları elde edildi.

Tüm hastaların port film ve EPI görüntülerinde saptanan ortalama kayma miktarları "Paired Sample T test" (Wilcoxon Sign) istatistik testi ile karşılaştırıldı.

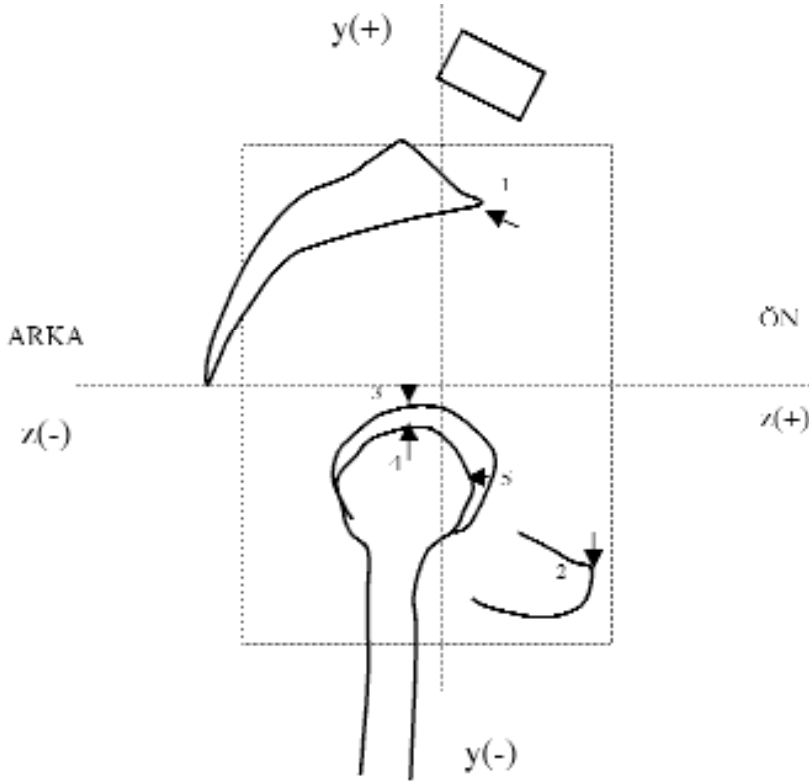
SONUÇLAR

Görüntü kalitesi:

Görüntü kaliteleri karşılaştırıldığında; medyan görüntü değerlendirme cetveli port film ve EPI için sırasıyla, AP filmlerde 5 ve 4; lateral görüntülerde 6 ve 4 olarak hesaplandı. Anteroposterior ve lateral görüntülerin her ikisi için de portal filmlerin görüntü kalitesi EPI'lere göre daha iyiydi



Şekil 2. Anteroposterior alanlarda tanımlanan referans anatomik yapılar: 1. S1 vertebra üst-orta nokta; 2. Sağ pelvik rim lateral nokta; 3. Sağ pelvik rim üst nokta; 4. Sol pelvik rim lateral nokta; 5. Sol pelvik rim üst nokta; 6. Symphysis pubis; 7. Sağ obturator foramen medial kenar; 8. Sol obturator foramen medial kenar; 9. Sağ femur başının alan içindeki en üst noktası; 10. Sol femur başının alan içindeki en üst noktası.



Şekil 3. Lateral alanlarda tanımlanan referans anatomik yapılar: 1. S1 vertebra üst-ön köşe noktası; 2. Symphysis pubis; 3. Asetabulum üst-orta nokta; 4. Femur başı üst-orta nokta; 5. Femur başı ön orta nokta.

($p < 0.001$; $p = 0.002$). Anteroposterior ve lateral alanlar karşılaştırıldığında ise; her iki görüntüleme yönteminde de anlamlı fark bulunmadı ($p = 0.54$; $p = 0.73$). Port film ve EPI'lerde görüntü kalitesi en iyi olan anatomik yapılar Symphysis pubis, pelvik rimler ve asetabulum; en kötü olanlar ise sakroiliak eklem, femur başı ve proksimal femur bölgeleriydi.

Hastaların ortalama ön-arka kalınlığı 22.8 cm (14-35), mediolateral kalınlığı 35.6 cm (29-42) olarak saptandı. Port film ve EPI görüntü değerlendirme cetveli ile hasta kalınlığı arasında anlamlı korelasyon yoktu.

Port film çekiminde AP filmlerde uygulanan doz 4-8 MU (ortanca 8 MU), lateral filmlerde ise 6-11 MU (ortanca 9) arasında değişmekteydi.

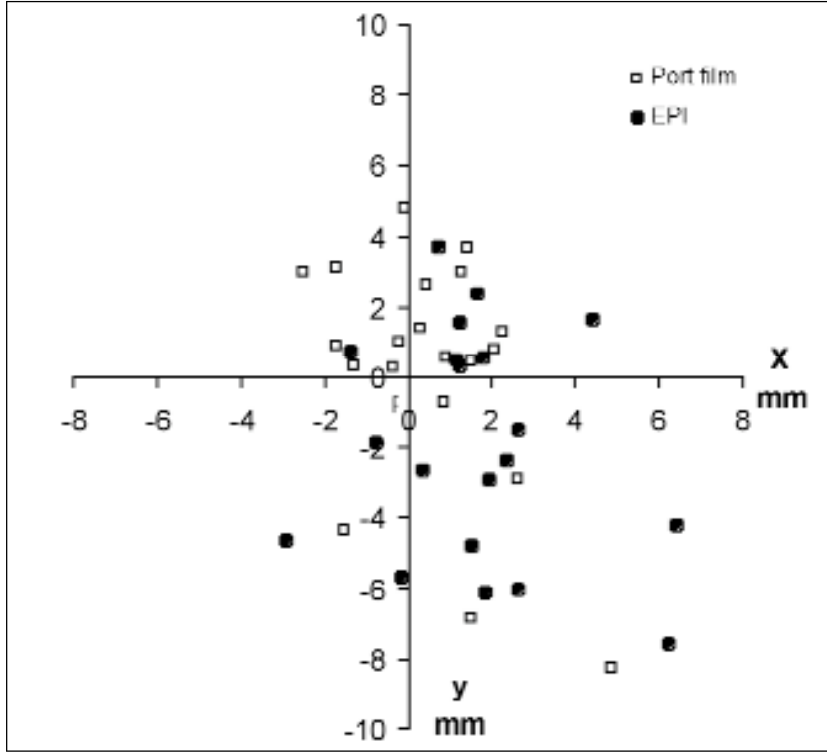
Tedavi alanlarındaki yer değişim:

Anteroposterior alanlar için port filmlerinde saptanan kayma miktarı x ekseninde (-2.5) – (+4.86) mm, y ekseninde (-8.29) – (+4.79) mm;

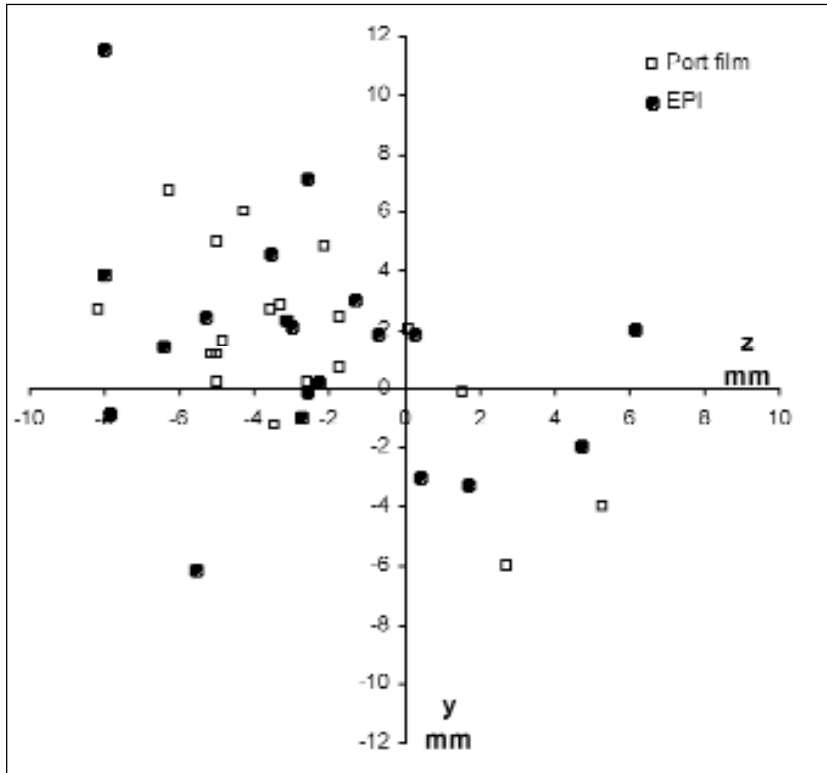
EPI'de ise x ekseninde (-2.93) – (+6.43) mm, y ekseninde (-7.57) ve (+3.71) mm arasında değişmekteydi (Şekil 4). Port film ve EPI'de saptanan x eksenindeki ortalama alan kayma miktarları arasındaki fark istatistiksel olarak sınırdan kabul edildi ($p = 0.05$). y ekseninde ise iki görüntüleme yöntemi arasında anlamlı fark vardı ($p = 0.003$).

Lateral alanlardaki kayma miktarı; port filmlerinde z ekseninde (-8.14) – (+5.29) mm, y ekseninde (-6) – (+6.71) mm; EPI'de ise z ekseninde (-8) – (+6.14) mm ve y ekseninde (-6.14) ve (+11.57) mm arasında değişmekteydi (Şekil 5). z ve y eksenlerindeki kayma miktarları açısından port film ve EPI arasında istatistiksel anlamlı fark yoktu ($p = 0.43$; $p = 0.99$).

Port film ve EPI görüntülerinde saptanan x, y ve z, y eksenlerindeki ortalama yer değişim miktarlarının mutlak değerleri alınarak tüm hastalar arasında her alandaki ortalama değişim miktarları belirlendi. Buna göre port filmlerde AP alanlarda ortalama kayma miktarı x ekseninde 1.47 mm, y



Şekil 4. Anteroposterior alanlarda port film ve EPI'de x ve y eksenlerindeki ortalama kayma miktarları.



Şekil 5. Lateral alanlarda port film ve EPI'de z ve y eksenlerindeki ortalama kayma miktarları.

Tablo 1

Port film ve simülasyon filmlerinde tüm eksenlerdeki minimum, maksimum ve ortalama alan yer değişim miktarları

	Port film (mm)				EPI (mm)			
	AP-x	AP-y	Lat-z	Lat-y	AP-x	AP-y	Lat-z	Lat-y
Minimum	0.07	0.29	0.14	0.14	0.14	0.36	0.29	0.14
Maksimum	4.86	8.29	8.14	6.71	6.43	7.57	8.00	11.57
Ortalama	1.47	2.51	3.99	2.63	2.16	3.09	3.81	3.04

EPI: Elektronik portal görüntü; AP: Anteroposterior; Lat: Lateral.

ekseninde 2.51 mm; lateral alanlarda z ekseninde 3.99 mm, y ekseninde 2.63 mm olarak bulundu. Elektronik portal görüntülerinde ise; AP alanda x ekseninde 2.16 mm, y ekseninde 3.09 mm, lateral alanda z ekseninde 3.81 mm ve y ekseninde 3.04 mm idi (Tablo 1).

TARTIŞMA

Portal görüntüleme amacıyla 1970'lerde port filmler kullanılmaya başlanmıştır.^[5,6] Simülasyon filmleri referans alınıp, port filmler simülasyon filmleri ile doğrudan karşılaştırılmaktadır.^[7,8] Tedavi volümü içindeki anatomik yapıların yerleşimi, kontrastlanma özellikleri karşılaştırılarak alan yer değişimleri değerlendirilmektedir.^[9] Ancak port filmler ile hataların saptanması genellikle hastaya tedavi uygulandıktan sonra yapılabildiği ve çok fazla zaman ve işgücü gerektirdiği için, gelişen teknoloji ile 1980'li yıllardan itibaren elektronik portal görüntüleme cihazları (EPID) kullanılmaya başlanmıştır.^[10,11] Elektronik portal görüntüleme, tedavi sırasında radyoterapi uygulanan alanın dijital ortamda görüntülenmesidir. Elektronik portal görüntü tedavi başlangıcındaki çok kısa bir süre içinde alınabilir ve saptanan 'set-up' hataları gerektiğinde düzeltildikten sonra tedavi uygulanabilmektedir.^[12] Teknolojik gelişmelerle beraber sayısal veri analizine dayalı objektif değerlendirme yöntemleri geliştirilmeye ve uygulanmaya başlanmıştır.^[13] Simülasyon ve port filmlerinin birbiriyle karşılaştırılması temeline dayalı "image registration" ve sayısal verilere dayalı karşılaştırma yapılabilen sistemler kullanılmaya başlamıştır.^[14-16] Özellikle son yıllarda yüksek tümör dozu ve maksimum normal doku korunmasına imkan veren

IMRT (intensity-modulated radiation therapy) ve IGRT (image-guided radiation therapy) teknolojilerinin kullanılmasıyla hasta/tümör pozisyonundaki değişiklikler tedavi anında belirlenebilmekte ve 'on-line' düzeltmeler yapılarak tedaviye devam edilmektedir.^[17-20]

Port film ve EPI'lerin görüntü özellikleri; kullanılan cihaz, uygulanan doz, tedavi bölgesi, hasta kalınlığı gibi faktörlere bağlı olarak değişmekte ve birbirinden farklılıklar göstermektedir. Görüntü kalitesi açısından iki teknik arasında belirgin farklılık vardır.^[21] Port film görüntüleri daha iyi olmakla beraber, gelişmiş EPID'ler ile simülasyon filmine yakın kalite ve netlikte görüntüler elde edilebilmektedir.^[22] Ayrıca EPID görüntülerini değerlendirmede tecrübe arttıkça, anatomik yapıların seçilebilirliği ve değerlendirilebilirliği de artmaktadır.^[23,24] Bu çalışmada port filmlerin görüntü kalitesi, EPI'den anlamlı olarak daha iyi bulundu; port film ve EPI'lerin tamamında görüntü kalitesi açısından en iyi değerlendirilebilen anatomik yapılar ise AP alanlarda Symphysis pubis ve pelvik rimler; lateral alanlarda asetabulum ve Symphysis pubis olarak saptandı.

Elektronik portal görüntülerin kağıda basılarak değerlendirilmesiyle 'set-up' hatalarının belirlenmesi güçtür. Bununla birlikte rutin klinik uygulamalar için daha kısa sürede, daha pratik ve daha ucuzdur. Özellikle hasta sayısı fazla olan kliniklerde tercih edilmektedir. Anatomik yapıların görüntülerini belirginleştirmek için dijital olarak renk, parlaklık ve kontrast seviyelerinde düzenlemeler yapılarak port filmleriyle benzer kalite ve doğrulukta değerlendirme olanağı sağlanmaktadır.^[25,26]

Farklı anatomik bölgelerde EPI'nin değerlendirilebilirliği ve etkinliği değişmektedir. Toraks, karın, kemik, santral sinir sistemi, aksilla ve pelvik bölgede EPI kullanılabilirken, vertebra ve baş-boyun bölgesi ışınlamalarında kullanımı kısıtlıdır.^[24] Özellikle küçük pelvis, ekstremiteler, baş-boyun ve kısmi kranial ışınlamalar için çift pozlama yapılan filmler gerekebilmektedir.^[27]

Pelvis bölgesindeki 'set-up' hatalarının değerlendirildiği çalışmalarda, sistematik ve random hatalar 1-4.4 mm arasında değişmektedir ve hataların anteroposterior yönde yani z ekseninde daha fazla olduğu bildirilmiştir.^[28-30]

Bu çalışmada değerlendirilen 20 hastada en fazla alan yer değişimi z ekseninde saptandı. Port film ile yapılan değerlendirmede ortalama 3.9 mm, EPI ile yapılan değerlendirmelerde 3.8 mm olarak bulundu. Ayrıca, port filmlerde hastaların 16'sında, EPI'lerde hastaların 15'inde, z eksenindeki kaymanın (-) yönde (AP) olduğu saptandı. (-) yöndeki kaymanın daha sık görülmesinde, tedavi masasındaki "mılar" sisteminin nisbi esnek yapısının etkili olabileceği düşünüldü. Alan kaymalarını hesaplamada seçilecek anatomik noktalardan AP alanlarda x ekseninde pelvik rimlerin, y ekseninde ise pelvik rim ve Symphysis pubis noktalarının, lateral alanlarda z ekseninde Symphysis pubis ve S1 vertebra'nın daha uygun olduğu düşünüldü.

Sabitleme gereçlerinin kullanımı ile 'set-up' hataları azaltılabilmektedir. Bu çalışmada değerlendirilen 20 hastada da sabitleme gereci kullanılmamasına rağmen tüm eksenlerdeki ortalama alan kayma miktarları 5 mm'nin altında oldu. Sabitleme gereçlerinin özellikle pelvis bölgesi ışınlamalarındaki katkısı çok fazla olmamaktadır.^[31,32] Ancak bazı çalışmalarda da sabitleme gereçlerinin 'set-up' tekrarlanabilirliğini artırdığı bildirilmiştir.^[33,34]

Portal film değerlendirme sıklığı klinikler arasında değişmekle birlikte net bir görüş birliği yoktur. Sistematik ve random hataları en az seviyeye indirmek için gerekli portal görüntüleme sıklığını saptamak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Her klinik kendi portal görüntüleme protokolünü belirlemektedir.^[35,36]

Radyoterapi alan doğrulamasında; tedavi öncesi veya sonrasında alınan radyolojik görüntüler, simülasyon grafipleri ile birebir görsel olarak karşılaştırılmaktadır. Subjektif verilere dayanan bu değerlendirmelerde değerlendirilene bağlı hata payı da unutulmamalıdır. Subjektif olarak görsel değerlendirmeler ile 5 mm ve altındaki hataları değerlendirilmesi güçtür.^[23] Çalışmamızda çok sayıda anatomik noktanın yerleşimi objektif olarak değerlendirilerek x, y, z eksenlerindeki ortalama kayma miktarları hesaplandı. Değerlendiriciler arasında ve aynı değerlendiricinin farklı zamanlardaki karşılaştırmalarında farklar olabildiğinden port film değerlendirilmesinde daha objektif metotların kullanılması ile kantitatif veriler elde edilmektedir.^[37,38] Son yıllarda gelişmekte olan bilgisayar programları yardımı ile simülasyon filmi ve portal görüntülerinin dijital ortamda karşılaştırılması ve 'set-up' hatalarının azaltılması mümkün olmaktadır.

SONUÇ

Tedavi alan doğrulamasında kullanılan EPI'ler ile port filmlerine göre çok daha hızlı ve pratik olarak değerlendirme yapmak, saptanan 'set-up' uyumsuzluklarını tedavi öncesinde düzeltmek ve görüntüleri dijital ortamda arşivlemek mümkün olmaktadır. En önemli dezavantajı ise görüntü kalitesinin sınırlı olması nedeniyle anatomik yapıların net değerlendirilememesidir. Ancak buna rağmen 'set-up' hatalarını saptamadaki etkinliği port filmlerine yakındır. Teknolojik gelişmeler sayesinde özellikle amorf silikon temelli EPI cihazları ile daha kaliteli görüntüler elde edilebilmektedir. Klinik portal görüntüleme protokollerinin oluşturulmasında port film ve EPI'lerin birlikte kullanılması faydalı olmaktadır. Ancak klinik deneyimlerin artması ve gelişmiş EPID'lerin kullanılması ile daha pratik ve uygulaması kolay olan EPI'lerin de 'set-up' hatalarını saptamadaki etkinlikleri artmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Michalski JM, Wong JW, Gerber RL, Yan D, Cheng A, Graham MV, et al. The use of on-line image verification to estimate the variation in radiation therapy dose delivery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993;27(3):707-16.

2. Kinzie JJ, Hanks GE, MacLean CJ, Kramer S. Patterns of care study: Hodgkin's disease relapse rates and adequacy of portals. *Cancer* 1983;52(12):2223-6.
3. White JE, Chen T, McCracken J, Kennedy P, Seydel HG, Hartman G, et al. The influence of radiation therapy quality control on survival, response and sites of relapse in oat cell carcinoma of the lung: preliminary report of a Southwest Oncology Group study. *Cancer* 1982;50(6):1084-90.
4. Terahara A, Niemierko A, Goitein M, Finkelstein D, Hug E, Liebsch N, et al. Analysis of the relationship between tumor dose inhomogeneity and local control in patients with skull base chordoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;45(2):351-8.
5. Rabinowitz I, Broomberg J, Goitein M, McCarthy K, Leong J. Accuracy of radiation field alignment in clinical practice. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1985;11(10):1857-67.
6. Marks JE, Haus AG, Sutton HG, Griem ML. The value of frequent treatment verification films in reducing localization error in the irradiation of complex fields. *Cancer* 1976;37(6):2755-61.
7. Griffiths SE, Pearcey RG, Thorogood J. Quality control in radiotherapy: the reduction of field placement errors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1987;13(10):1583-8.
8. Mitine C, Dutreix A, van der Schueren E. Tangential breast irradiation: influence of technique of set-up on transfer errors and reproducibility. *Radiother Oncol* 1991;22(4):308-10.
9. Goretzky EJ, Kind AL. Evaluation of films for use in portal imaging in radiation therapy--a study at the Saskatoon Cancer Centre. *Can J Med Radiat Technol* 1992;23(3):117-9.
10. Hatherly K, Smylie J, Rodger A. A comparison of field-only electronic portal imaging hard copies with double exposure port films in radiation therapy treatment setup confirmation to determine its clinical application in a radiotherapy center. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;45(3):791-6.
11. Munro P. Portal Imaging Technology: Past, Present, and Future. *Semin Radiat Oncol* 1995;5(2):115-133.
12. Bel A, Vos PH, Rodrigus PT, Creutzberg CL, Visser AG, Stroom JC, et al. High-precision prostate cancer irradiation by clinical application of an offline patient setup verification procedure, using portal imaging. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1996;35(2):321-32.
13. Herman MG, Balter JM, Jaffray DA, McGee KP, Munro P, Shalev S, et al. Clinical use of electronic portal imaging: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58. *Med Phys* 2001;28(5):712-37.
14. Clippe S, Sarrut D, Malet C, Miguet S, Ginestet C, Carrie C. Patient setup error measurement using 3D intensity-based image registration techniques. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;56(1):259-65.
15. Rosenman J. Incorporating functional imaging information into radiation treatment. *Semin Radiat Oncol* 2001;11(1):83-92.
16. Langmack KA. Portal imaging. *Br J Radiol* 2001;74(885):789-804.
17. Haslam JJ, Lujan AE, Mundt AJ, Bonta DV, Roeske JC. Setup errors in patients treated with intensity-modulated whole pelvic radiation therapy for gynecological malignancies. *Med Dosim* 2005;30(1):36-42.
18. Schallenkamp JM, Herman MG, Kruse JJ, Pisansky TM. Prostate position relative to pelvic bony anatomy based on intraprostatic gold markers and electronic portal imaging. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;63(3):800-11.
19. Herman MG, Pisansky TM, Kruse JJ, Prisciandaro JJ, Davis BJ, King BF. Technical aspects of daily online positioning of the prostate for three-dimensional conformal radiotherapy using an electronic portal imaging device. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;57(4):1131-40.
20. Steciw S, Warkentin B, Rathee S, Fallone BG. Three-dimensional IMRT verification with a flat-panel EPID. *Med Phys* 2005;32(2):600-12.
21. Valicenti RK, Michalski JM, Bosch WR, Gerber R, Graham MV, Cheng A, et al. Is weekly port filming adequate for verifying patient position in modern radiation therapy? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994;30(2):431-8.
22. Gagel B, Schramm O, Harms W, Mulhern A, Wenz F, van Kampen M, et al. The electronic portal imaging system Siemens Beamview Plus versus the conventional verification films CEA-TVS and DuPont COL-7. A critical appraisal of visual image quality. *Strahlenther Onkol* 2002;178(8):446-52.
23. Perera T, Moseley J, Munro P. Subjectivity in interpretation of portal films. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;45(2):529-34.
24. Lavertu S, Girouard LM, Pouliot J. Observation study of electronic portal images for off-line verification. *Radiother Oncol* 2000;54(1):47-55.
25. Kruse JJ, Herman MG, Hagness CR, Davis BJ, Garces YI, Haddock MG, et al. Electronic and film portal images: a comparison of landmark visibility and review accuracy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002;54(2):584-91.
26. Fielding AL, Evans PM, Clark CH. Verification of patient position and delivery of IMRT by electronic portal imaging. *Radiother Oncol* 2004;73(3):339-47.

27. Hatherly KE, Smylie JC, Rodger A, Dally MJ, Davis SR, Millar JL. A double exposed portal image comparison between electronic portal imaging hard copies and port films in radiation therapy treatment setup confirmation to determine its clinical application in a radiotherapy center. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;49(1):191-8.
28. Weber DC, Nouet P, Rouzaud M, Miralbell R. Patient positioning in prostate radiotherapy: is prone better than supine? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000;47(2):365-71.
29. Haslam JJ, Lujan AE, Mundt AJ, Bonta DV, Roeske JC. Setup errors in patients treated with intensity-modulated whole pelvic radiation therapy for gynecological malignancies. *Med Dosim* 2005;30(1):36-42.
30. Hurkmans CW, Remeijer P, Lebesque JV, Mijnheer BJ. Set-up verification using portal imaging; review of current clinical practice. *Radiother Oncol* 2001;58(2):105-20.
31. Bieri S, Miralbell R, Nouet P, Delorme H, Rouzaud M. Reproducibility of conformal radiation therapy in localized carcinoma of the prostate without rigid immobilization. *Radiother Oncol* 1996;38(3):223-30.
32. Washington M, Vijayakumar S, Vaida F, Sen S, Wyman B, Harrison J, et al. Comparison of three immobilisation devices in the 3 D conformal radiation therapy of prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994;30(Suppl. 1):174.
33. Bentel GC, Marks LB, Sherouse GW, Spencer DP, Anscher MS. The effectiveness of immobilization during prostate irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995;31(1):143-8.
34. Mitine C, Hoornaert MT, Dutreix A, Beauvain M. Radiotherapy of pelvic malignancies: impact of two types of rigid immobilisation devices on localisation errors. *Radiother Oncol* 1999;52(1):19-27.
35. Amer AM, Mackay RI, Roberts SA, Hendry JH, Williams PC. The required number of treatment imaging days for an effective off-line correction of systematic errors in conformal radiotherapy of prostate cancer--a radiobiological analysis. *Radiother Oncol* 2001;61(2):143-50.
36. Yan D, Wong J, Vicini F, Michalski J, Pan C, Frazier A, et al. Adaptive modification of treatment planning to minimize the deleterious effects of treatment setup errors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;38(1):197-206.
37. Boxwala AA, Chaney EL, Fritsch DS, Raghavan S, Coffey CS, Major SA, et al. Comparison of computer workstation with light box for detecting setup errors from portal images. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;44(3):711-6.
38. Lewis DG, Ryan KR, Smith CW. Observer variability when evaluating patient movement from electronic portal images of pelvic radiotherapy fields. *Radiother Oncol* 2005;74(3):275-81.