



Ortopedi ameliyathanesinde radyasyon

Gültekin Sıtkı ÇEÇEN¹, Deniz GÜLABİ¹, Gökhan PEHLİVANOĞLU¹,
Güven BULUT¹, Halil BEKLER¹, Kiyasettin ASİL²

¹Dr. Lütfi Kırdar Kartal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

²Sakarya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Sakarya

Amaç: Çalışmamızda amaç ortopedi ameliyathanesinde ne kadar radyasyona maruz kalındığını belirlemek, tüpten uzaklaştıkça radyasyon dozunun azaldığını göstermek ve personeli korunma konusunda bilgilendirmektir.

Çalışma planı: 18.02.2014 ile 02.06.2014 tarihleri arasında floroskop kullanılan ortopedi ameliyathanesinde, iyonize radyasyon ölçümü yapıldı. 4 adet dozimetre ameliyat masası baş ve ayak uçlarında ve bu bölgelere 200 cm uzaklıkta bulunan, 60 cm yükseklikte dikey zemine yerleştirildi.

Bulgular: 104 gün sonunda, 1 nolu dozimetrede (masanın ayak kısmında) 90.5 mrem, 2 no dozimetrede (masanın baş kısmında) 68.17 mrem, 3 no dozimetrede (masanın ayak kısmından 200 cm uzakta) 7.5 mrem, 4 no dozimetrede (masanın baş kısmının 200 cm uzağına) 5.17 mrem toplam değerleri bulduk. Radyasyon kaynağından uzaklaşarak saptanabilir değerlerde belirgin azalmalar olduğunu gözlemledik.

Çıkarımlar: Radyasyon kaynağından uzaklaştıkça dozimetrelerde saptanan radyasyon oranı düşmektedir. Ortopedik cerrahide floroskopi kullanımı sırasında kurşunlu zırhlı koruyucu önlük, boyunluk ve gözlük kullanımı yanı sıra tüpten uzak durulması da kişilerin maruz kalacağı radyasyonu azaltmaktadır.

Anahtar sözcükler: Floroskopi; iyonize radyasyon; ortopedi ameliyathanesi.

X-ışınlarının 1895 yılında Roentgen tarafından bulunmasıyla birlikte tıpta kullanımı giderek artmıştır.^[1] C-kollu skopi ortopedik cerrahide, iskelet sisteminin gerçek-zamanlı görüntüsünü verdiği için, sıklıkla kullanılmaktadır. C-kollu skopi kırık redüksiyonunu, ortopedik implantların yerleşimini görmek için kullanılır, günümüzde minimal invaziv cerrahiyle birlikte kullanımı daha da artmıştır.^[2,3] Ancak floroskopinin yaygın kullanımı, sadece cerrahı değil aynı zamanda, anestezi ekibini, hemşireyi, yardımcı personeli ve hastayı da iyonize radyasyonun zararlı etkilerine maruz bırakmaktadır.^[4-6] Floroskopi sırasında iyonize radyasyon tüpten tüm yön-

lere dağılım gösterir.^[7] Standart floroskopide hastaların direkt maruz kaldığı radyasyon dozu 12-40 mSv/dak olarak bildirilmiştir.^[8] 0.001 rad gibi çok düşük dozlardaki radyasyonun bile cilde, gözlere, gonadlara ve kan hücrelerine olumsuz etkisinin olduğu ve kanserojen olduğu bilinmektedir.^[9] Tse ve ark.,^[10] Mastrangelo ve ark.^[11] ortopedistlerde tiroid kanserlerindeki artışı bildirmişlerdir. İyonize radyasyonun HIV tip I replikasyon aktivasyonundan ve lens zedelenmelerinden sorumlu olduğuna dair bilgiler vardır.^[12]

Amerikan ulusal radyasyon ölçüm ve korunma derneği (NCRP) ve uluslararası radyasyondan korunma

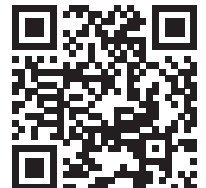
Yazışma adresi: Dr. Gültekin Sıtkı Çeçen, Dr. Lütfi Kırdar Kartal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul.

Tel: +90 216 - 458 30 00 e-posta: gcecen2002@yahoo.com

Başvuru tarihi: 08.07.2014 **Kabul tarihi:** 15.11.2014

©2015 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu
www.aott.org.tr adresinde
doi: 10.3944/AOTT.2015.14.0250
Karekod (Quick Response Code)



derneği'nin (ICRP) bildirdiği yıllık radyasyon kümülatif doz miktarı maksimum 20–50 mSv'dir. Bu değerler yıllar içerisinde, radyasyonun uzun dönem olumsuz etkilerinin görülmesiyle, düşürülmüştür.^[13] Ortopedi ameliyathanesinde floroskopi kullanımını gerektiren cerrahi işlemler sırasında ameliyathanede bulunan tüm çalışanlar ve hastalar iyonize radyasyona maruz kalırlar. İyonize radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için birçok önlem bildirilmiştir. Kurşun yelek kullanımı, tiroid için koruyucu boyunluk, özel gözlük, skopi teknisyeni kullanmak, deneyimli cerrahi ekip, skopi tüpünden uzaklık bunlardan bazılarıdır.^[2]

Uluslararası radyasyondan koruma derneğinin açıkladığı yıllık güvenilir radyasyon dozu tüm vücut için 20 mSv, tiroid için 150 mSv, eller için ise 500 mSvdir.^[14] Çalışmadaki amacımız; ortopedi ameliyathanesinde dört farklı noktaya konan dozimetreler ile floroskopi eşliğinde yapılan ortopedik girişimler sırasındaki radyasyonun kümülatif ve vakabaşına düşen dozunu belirlemek idi. Hipotezimiz ise, floroskopi tüpünden uzaklaştıkça maruz kalınan radyasyon miktarının düşeceği.

Hastalar ve yöntem

Bu çalışma için, Dr. Lütfi Kırdar Kartal Eğitim ve Araştırma Hastanesi etik komitesinden onay alınmıştır. Hastanemiz ortopedi ameliyathanesinde, 18.02.2014 ile 02.06.2014 tarihleri arasında toplam 104 günün, 71 iş gününde 284 ortopedik operasyon gerçekleştirildi. Bu operasyonların 128'inde C-kollu floroskopi ile görüntüleme alındı. Bu operasyonların 101 tanesi alt ekstremitte cerrahisi, 10 tanesi omurga cerrahisi ve 17 tanesi üst ekstremitte cerrahisi idi. 101 alt ekstremitte cerrahisininin 45 tanesi kalça çevresi (proksimal femoral çivileme (n=35) yada dinamik kalça çivileme (n=10), 30 tanesi femur çivileme yada biyolojik plaklama ve 26 tanesi ise tibia çivileme yada minimal invaziv plaklama operasyonu idi. 17 tane üst ekstremitte cerrahisininin 10 tanesi çocuk suprakondiker humerus kırığı için yapılan kapalı redüksiyon ve pinleme operasyonu, 7 tanesi ise distal radius kırığı nedeniyle açık redüksiyon ve plak ile osteosentez operasyonu idi. Skopi ile 5552 kez görüntüleme yapılmış olup, toplam 43.375 görüntüleme kayıt edildi. Toplam,

73 dakika 39 saniyelik 7 saliselik çekim yapılmış olup, vaka başına ortalama 34.52 saniyelik ölçüm yapılmıştır. Ameliyathanede floroskopi kaynaklı radyasyonun ölçülmesi için 4 adet Optik Uyarmalı Luminesans (OSL) Dozimetri (Radkor, Ankara, Turkey) kullanıldı. 1 nolu dozimetre operasyon masasının ayak tarafı alt yüzüne, 2 nolu dozimetre, masanın baş tarafı alt yüzüne, 3 nolu dozimetre yerden 60 cm yükseklikte masanın ayak tarafından 200 cm uzaklığa duvar yüzeyine, 4 nolu dozimetre yerden 60 cm yükseklikte baş tarafından 200 cm uzaklığa duvar yüzeyine yerleştirildi. Alan belirlemesini yaparken amacımız; anestezi ve cerrahi ekiplerin buldukları yerlerde maruz kaldıkları iyonize radyasyon miktarını belirlemektir. Dozimetrelerin tespit edildiği yerler, radyasyon geçiren bölgelerdi ve dozimetrenin tespiti için pamuklu radyolens flaster kullanıldı. (Cansinfix-Kocaeli, Tıbbi Esnek Plaster Surgical Elastic Plaster) 104 gün süreyle aynı floroskopi cihazı kullanılarak uygulama tamamlandı. (Genoray Am. Inc. Performance C-Arm - ZEN-7000 Performance Standart of C-Arms powerful output: 120 kV/20 mA, Stylish touch screen Operation Panel, Convenience-Flexibility: 45 degree overcast 30" + free space, 120 v power input).

Süre sonunda dozimetreler, güvenlik kılıfları içerisinde konarak değerlendirme yapılmak üzere ilgili merkeze gönderildi. (Epsilon Landauer tüm vücut dozu Hp (10) Dozimetri Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş. Şişli, İstanbul)

Bulgular

Yetmiş bir işgünü sonunda, toplamda, 1 numaralı dozimetrede 90.5 mrem, 2 numaralı dozimetrede 68.17 mrem, 3 numaralı dozimetrede 7.5 mrem, 4 numaralı dozimetrede 5.17 mrem değerlerini bulduk. Günlük saptanan radyasyon miktarı 1 den 4 e doğru azalan oranlarda 8.70 mikroSv, 6.55 mikroSv, 0.72 mikroSv, 0.50 mikroSv olarak belirlendi. Sonuçlara göre dozimetrelerde saptanan aylık ortalama radyasyon miktarları; 1 nolu dozimetrede 0.26 mSv, 2 nolu da 0.20 mSv, 3 nolu dozimetrede 0.02 mSv, 4 nolu dozimetrede 0.01 mSv olarak saptandı. En yüksek radyasyon seviyesini masa ayak ucu tarafında saptadık, masa baş kısmına 200cm mesafede en düşük radyasyon miktarı bulduk (Tablo 1).

Tablo 1. 4 dozimetrenin günlük aylık ve total radyasyon miktarları.

| No | Dozimetre ID | Alana bırakma tarihi | Okuma tarihi | Doz (mrem) | Günlük (mikroSv) | Aylık (mSv) |
|----|--------------|----------------------|--------------|------------|------------------|-------------|
| 1 | XA02250637A | 18.02.2014 | 03.06.2014 | 90.5 | 8.70 | 0.26 |
| 2 | XA02250655C | 18.02.2014 | 03.06.2014 | 68.17 | 6.55 | 0.20 |
| 3 | XA02429346C | 18.02.2014 | 03.06.2014 | 7.17 | 0.69 | 0.02 |
| 4 | XA025843753 | 18.02.2014 | 03.06.2014 | 5.17 | 0.50 | 0.01 |

Tartışma

Ortopedi ameliyathanesinde ameliyat masası ve çevresindeki farklı noktalara dozimetre yerleştirilerek yapılan iyonize radyasyon ölçümü çalışmamız, radyasyon miktarının ICRP'nin ve NCRP'nin son bildirdiği maksimum değerlerin altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca cerrahi sahadan 200 cm uzakta radyasyon miktarının anlamlı olarak düştüğünü belirledik ve bu da bizim hipotezimizi desteklemektedir.

Radyasyonun absorpsiyon dozu (Radiation Absorption Dose) RAD'dır 1 Rad = Memelilerdeki karşılığı 1 REM olarak belirlenir. 100 rad = 100.000 mrem'dir. 100 mrem = 1 mSv.^[8,15] Amerikan nükleer araştırma cemiyetine göre kişinin maruz kalabileceği yıllık güvenli radyasyon miktarı, 6.2 mSv/yıldır. Mutlak maksimum yıllık doz 50 mSv/yıldır. Kişinin ömür boyu alacağı maksimum doz 500 mSv ile 4000 mSv arasındadır. Örnekleme yoluyla değerlendirdiğimizde; tek çekimde akciğer grafisi = 0.1 mSv, akciğer BT=10 mSv, sigara kullanımı 1.5 paket/gün = 13 mSv/yıl sonuçları ameliyathanede maruz kalınan miktarla karşılaştırma yapmak için iyi birer örnek teşkil etmektedir.^[16] Radyolojik Koruma için ICRP, kabul edilebilir doz sınırlarını belirlemiştir. En son ICRP yönetmeliğini incelediğimizde, mesleki doz limitinin 5 yıllık ortalama üzerinden; yıllık 50 mSv aşılmasının uygun olduğunu görmekteyiz. Organ eşdeğer dozları, göz lensi, 150 mSv; cilt, 500 mSv; eller ve ayaklar, 500 mSv.^[14,17]

Ortopedi ameliyathanesinde çalışanların radyasyondan etkilenmesi direk, yansıma ve sızma şeklinde üç farklı yoldan olmaktadır. Sızma şeklinde olan etkileşim kullanılan floroskop ile ilgili olup, yansıma hasta vücudundan ya da ameliyathanedeki cisimlerden aktarımla oluşan etkileşimlerdir.^[18,19] Epidemiyolojik ve deneysel çalışmalar; düşük doz radyasyon maruziyetinin bile ilerde solid organ kanserleri ve lösemi oluşumunda risk oluşturduklarını göstermiştir.^[9,11,13,20,21] Buna bağlı olarak gelişmiş ülkelerde; nükleer santrallerde ve sağlık merkezlerinde; radyasyona maruz kalan kişilerin yıllık 50 mSv den fazla radyasyona maruz kalmasına izin verilmez.^[13] Bizi bu çalışmaya yönlendiren etmen ortopedi ameliyathanesindeki radyasyonun dozunu belirlemek ve önlemleri anımsatmaktır. Zira ameliyathanemizde de, bugüne kadar saptanan rutin radyasyon ölçüm sonuçlarımız düşük seviyelere işaret etmektedir, ancak bu durum çalışanlarımızın kendini güvende hissetmesine neden olmamaktadır. Çalışmamızın ileride yapacağımız detaylı başka araştırmalara temel teşkil etmesi açısından önemli olduğunu düşünmekteyiz.

Ismail ve ark.^[22] çalışmalarında, ameliyathane koşullarında, en fazla radyasyona maruz kalan doktorların

anestezi asistanları olduğunu, bunu ortopedist ve ürologların takip ettiğini göstermiştir. Bizim sonuçlarımızı göre ortopedistin çalıştığı bölgede (1 ve 2 nolu dozimetre) radyasyon miktarı, anestezi sahasından daha yüksek bulundu. Radyasyon dozu, cerrahların dönüşümlü çalışması nedeniyle güvenli gibi gözükmeyle beraber, ameliyathaneyi aynı yardımcı personel ve anestezi ekibinin sürekli kullandığını ve radyasyonun kümülatif etkisini de göz önüne aldığımızda yardımcı personel ve anestezi ekibinin daha olumsuz etkilenebileceğini söyleyebiliriz. Bu durum floroskopi kullanılan alanlarda radyasyona karşı gerekli önlemleri özenle almayı gerektirmektedir.

Radyasyonun olumsuz etkilerinden korunabilmek için yapılabilecek uygulamalar vardır. Bunların en önemli floroskopi tüpünden uzak durmak, zırhlanma dediğimiz kurşun yelek, tiroid için boyunluk, koruyucu gözlük kullanmak, kullanılan cerrahi teknik (açık, minimal invaziv cerrahi), deneyimli cerrahi ekip, skopi teknisyenidir.^[1,10,18,23,24] Belkide en önemlisi radyasyonun risk ve korunma eğitiminin cerrahi ekibe belli aralıklarla verilmesidir. Khan ve ark.^[25] yaptıkları çalışmada, ortopedi travma cerrahisinde çalışan yeni cerrahların iyonizan radyasyonun olumsuz etkilerini ve korunma yöntemlerini bilmediklerini yayınlamışlardır. Tüm kariyeriniz boyunca radyasyon maruz kalım dozunu en düşük tutmak için yapabileceğiniz herşeyi yapmak önemlidir. Uzaklık maruz kalımı azaltan en iyi yöntemlerden biridir. Mehlman ve ark.^[15] 1.5 m uzaklığın maruz kalım dozunu sıfıra indirmede yeterli olduğunu göstermiştir. Bizim çalışmamızda da 200cm de saptadığımız sonuçlar belirgin şekilde düşük radyasyon dozlarını işaret etmektedir. Mariscalco ve ark.^[26] yapmış oldukları çalışmada, minimal invaziv cerrahi girişimler sırasında radyasyon maruziyetinin açık cerrahi girişime oranla anlamlı seviyede yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Faulkner ve ark.^[27] koruyucu gözlük ve kurşun boyunluk kullanımının tiroid ve lens gibi radyasyona duyarlı organlarda radyasyon maruziyetinin yol açacağı sorunları anlamlı oranda azalttığını bildirmişlerdir. Kurşun önlük giyiminin radyasyona karşı önemli bir koruyucu olduğunu birçok çalışma ile göstermişlerdir.^[11,28-32] 0.5 mm kurşun kalınlığının radyasyon maruziyetini %97-%99 azalttığı bildirilmiştir.^[33] Asistanların ve yeni cerrahların konusunda tecrübeli uzmanlara göre daha fazla radyasyona maruz kaldığı çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir.^[34-36] Radyasyondan korunmada temel bir kavram da ALARA olarak adlandırılır: Mantıklı uygulanabilir en düşük doz (as low as reasonably achievable).^[21] Bu değerlendirme daha çok hasta için oluşturulmuş olup, tıbbi personelin radyasyona maruz kalımı aynı derecede dikkati çekmemiştir. Mini C kollu floroskopi kullanarak radyasyon etkileni-

mini azaltmanın mümkün olduğunu bildiren makaleler vardır.^[19] Bu şekilde tüpün masanın alt tarafında kalması direkt ve saçılım yoluyla gelen radyasyonu sınırlı alanda tutacaktır.^[23] Biz de çalışmamızda tüp masanın altında kalacak şekilde görüntülemelerimizi tamamladık. Bazı merkezlerde kullanılan PACS sisteminin (digital radyografi teknolojisinin) radyasyon dozunu azalttığı gösterilmiştir.^[37] Navigasyon sistemleri kullanılarak yapılan intramedüller uygulamalar, floroskopi gereksinimlerini azaltmaktadır.^[38]

Her türlü önleme rağmen floroskopinin yaygın kullanıldığı merkezlerden yayınlanan araştırmalarda, bu merkezde çalışanların radyasyona bağlı sağlık sorunlarında artışın olması, konunun üzerinde ısrarla çalışılması gerektiğini göstermektedir.^[7,11,21] Ortopedi ameliyathanesinde hasta, cerrah, hemşire, anestezi personeli ve cerrahi ekibi radyasyondan korumak için mutlak zırhlanmayı sağlamak, deneyimli ekip ve skopi teknisyeni kullanmak, C-kollu skopi kullanmak ve çekim sırasında en az 150 cm uzakta durmak, femur ve tibia çivilemelerinde navigasyon kullanmak önemlidir.

Çalışmamızda, ortopedi ameliyathanesinde saptanan radyasyon dozu uluslararası standartlara göre güvenli sınırlar içerisinde. Ancak bugüne kadar belirlenmiş risklerle beraber, radyasyonun uzun vadede yaratacağı, özellikle hücresel seviyedeki araştırmaya açık diğer riskleri nedeniyle maksimum korunma önlemlerinin (zırhlanma, uzak durma) alınmasının uygun olacağını, ayrıca ortopedi çalışanlarının belirli sürelerle iyonize radyasyonun riski ve korunması hususunda eğitime alınması gerektiğini düşünmekteyiz.

Çıkar örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

- Lee SY, Min E, Bae J, Chung CY, Lee KM, Kwon SS, et al. Types and arrangement of thyroid shields to reduce exposure of surgeons to ionizing radiation during intraoperative use of C-arm fluoroscopy. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38:2108–12.
- Kesavachandran CN, Haamann F, Nienhaus A. Radiation exposure of eyes, thyroid gland and hands in orthopaedic staff: a systematic review. *Eur J Med Res* 2012;17:28.
- Badman BL, Rill L, Butkovich B, Arreola M, Griend RA. Radiation exposure with use of the mini-C-arm for routine orthopaedic imaging procedures. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:13–7.
- Park MS, Lee KM, Lee B, Min E, Kim Y, Jeon S, et al. Comparison of operator radiation exposure between C-arm and O-arm fluoroscopy for orthopaedic surgery. *Radiat Prot Dosimetry* 2012;148:431–8.
- Teitelbaum GP, Shaolian S, McDougall CG, Preul MC, Crawford NR, Sonntag VK. New percutaneously inserted spinal fixation system. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:703–9.
- Blakely EA. Biological effects of cosmic radiation: deterministic and stochastic. *Health Phys* 2000;79:495–506.
- Arnstein PM, Richards AM, Putney R. The risk from radiation exposure during operative X-ray screening in hand surgery. *J Hand Surg Br* 1994;19:393–6.
- Singer G. Occupational radiation exposure to the surgeon. *J Am Acad Orthop Surg* 2005;13:69–76.
- Jablón S, Bailar JC 3rd. The contribution of ionizing radiation to cancer mortality in the United States. *Prev Med* 1980;9:219–26.
- Tse V, Lising J, Khadra M, Chiam Q, Nugent R, Yeaman L, et al. Radiation exposure during fluoroscopy: should we be protecting our thyroids? *Aust N Z J Surg* 1999;69:847–8.
- Mastrangelo G, Fedeli U, Fadda E, Giovanazzi A, Scozzato L, Saia B. Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital. *Occup Med (Lond)* 2005;55:498–500.
- Faure E. X-rays-induced secretion of cellular factor(s) that enhance(s) HIV-1 promoter transcription in various non-irradiated transfected cell lines. *Cell Mol Biol (Noisy-legrand)* 1998;44:1275–92.
- Prasarn ML, Martin E, Schreck M, Wright J, Westesson PL, Morgan T, et al. Analysis of radiation exposure to the orthopaedic trauma patient during their inpatient hospitalisation. *Injury* 2012;43:757–61.
- International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 1991;2:1–3.
- Mehlman CT, DiPasquale TG. Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: “how far away is far enough?”. *J Orthop Trauma* 1997;11:392–8.
- Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionising Radiation; Nuclear and Radiation Studies Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies. *Health risks from exposure to low levels of ionising radiation: BEIR VII Phase 2*. Washington, DC: The National Academies Press; 2006.
- Wrixon AD. New ICRP recommendations. *J Radiol Prot* 2008;28:161–8.
- Barry TP. Radiation exposure to an orthopedic surgeon. *Clin Orthop Relat Res* 1984;182:160–4.
- Giordano BD, Ryder S, Baumhauer JF, DiGiovanni BF. Exposure to direct and scatter radiation with use of mini-c-arm fluoroscopy. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89:948–52.
- Sinclair WK. Radiation protection recommendations on dose limits: the role of the NCRP and the ICRP and future developments. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995;31:387–92.
- Hall EJ, Brenner DJ. Cancer risks from diagnostic radiol-

- ogy. *Br J Radiol* 2008;81965:362–78.
22. Ismail S, Khan FA, Sultan N, Naqvi M. Radiation exposure of trainee anaesthetists. *Anaesthesia* 2006;61:9–14.
 23. Agarwal A. *Radiation Risk in Orthopedic Surgery: Ways to Protect Yourself and the Patient*. Elsevier Inc. Oper Tech Sports Med 2011;19:220–3.
 24. Miller ME, Davis ML, MacClean CR, Davis JG, Smith BL, Humphries JR. Radiation exposure and associated risks to operating-room personnel during use of fluoroscopic guidance for selected orthopaedic surgical procedures. *J Bone Joint Surg Am* 1983;65:1–4.
 25. Khan F, Ul-Abadin Z, Rauf S, Javed A. Awareness and attitudes amongst basic surgical trainees regarding radiation in orthopaedic trauma surgery. *Biomed Imaging Interv J* 2010;6:25.
 26. Mariscalco MW, Yamashita T, Steinmetz MP, Krishnaney AA, Lieberman IH, Mroz TE. Radiation exposure to the surgeon during open lumbar microdiscectomy and minimally invasive microdiscectomy: a prospective, controlled trial. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011;36:255–60.
 27. Faulkner K, Harrison RM. Estimation of effective dose equivalent to staff in diagnostic radiology. *Phys Med Biol* 1988;33:83–91.
 28. Theocharopoulos N, Perisinakis K, Damilakis J, Papadokostakis G, Hadjipavlou A, Gourtsoyiannis N. Occupational exposure from common fluoroscopic projections used in orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85–A:1698–703.
 29. Rampersaud YR, Foley KT, Shen AC, Williams S, Solomito M. Radiation exposure to the spine surgeon during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000;25:2637–45.
 30. Lee K, Lee KM, Park MS, Lee B, Kwon DG, Chung CY. Measurements of surgeons' exposure to ionizing radiation dose during intraoperative use of C-arm fluoroscopy. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37:1240–4.
 31. Murphy PH, Wu Y, Glaze SA. Attenuation properties of lead composite aprons. *Radiology* 1993;186:269–72.
 32. Lyra M, Charalambatos P, Sotiropoulos M, Diamantopoulos S. Radiation protection of staff in ¹¹¹In radionuclide therapy--is the lead apron shielding effective? *Radiat Prot Dosimetry* 2011;147:272–6.
 33. Schueler BA, Balter S, Miller DL. Radiation protection tools in interventional radiology. *J Am Coll Radiol* 2012;9:844–5.
 34. Blattert TR, Fill UA, Kunz E, Panzer W, Weckbach A, Regulla DF. Skill dependence of radiation exposure for the orthopaedic surgeon during interlocking nailing of long-bone shaft fractures: a clinical study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2004;124:659–64.
 35. Tuohy CJ, Weikert DR, Watson JT, Lee DH. Hand and body radiation exposure with the use of mini C-arm fluoroscopy. *J Hand Surg Am* 2011;36:632–8.
 36. Madan S, Blakeway C. Radiation exposure to surgeon and patient in intramedullary nailing of the lower limb. *Injury* 2002;33:723–7.
 37. Seibert JA. Digital radiography: image quality and radiation dose. *Health Phys* 2008;95:586–98.
 38. Kahler DM. Navigated long-bone fracture reduction. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91 Suppl 1:102–7.