



## **RADIOPROTEZIONE PROFESSIONALE IN RADIOLOGIA INTERVENTISTICA. LINEE GUIDA CONDIVISE DELLA SOCIETA' EUROPEA DI RADIOLOGIA CARDIOVASCOLARE E INTERVENTISTICA (CIRSE) E DELLA SOCIETA' AMERICANA DI RADIOLOGIA INTERVENTISTICA (SIR)**

Da: Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. Miller D L., Vaňó E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, Schueler B, Cardella JF, de Baère T. Cardiovasc Intervent Radiol (2010) 33:230–239

*Traduzione italiana a cura del Dott.ssa Annalisa Mantarro e Dott. Francesco Rosella; revisione a cura della Dott.ssa Rita Golfieri.*

### **Premessa**

I membri della commissione Standards of Practice della Società Europea di Radiologia Interventistica e Cardiovascolare (CIRSE) e i membri della commissione Safety and Health della Società di Radiologia Interventistica (SIR), sono costituiti da esperti in un ampio spettro di procedure interventistiche nei settori sia privato che accademico della medicina. In generale, i membri di queste commissioni dedicano la maggior parte della loro attività lavorativa a procedure interventistiche; rappresentano pertanto un valido collegio di esperti dell'argomento considerato. I documenti "tecnici" che specificano le esatte metodologie di consenso e di revisione della letteratura, le appartenenze istituzionali e le credenziali professionali degli autori di questo documento, sono disponibili su richiesta da SIR, 3975 Fair Ridge Drive, Suite 400 North, Fairfax, VA 22033, USA.

### **Metodo**

CIRSE e SIR producono i loro documenti riguardanti la sicurezza nel modo seguente. I membri dello Standards o Practice del CIRSE e della commissione Safety and Health del SIR formulano i documenti rilevanti e di aggiornamento. Viene quindi identificato un esperto, riconosciuto come autore principale. In rapporto all'ampiezza del progetto, possono essere designati altri autori. Viene eseguita una ricerca bibliografica approfondita utilizzando le banche dati elettroniche di letteratura medica. Per quanto riguarda la metodologia di studio, i risultati e le conclusioni, se opportuno, viene effettuata una revisione critica di articoli peer-reviewed e di documenti normativi. Il peso qualitativo di questi articoli è valutato e utilizzato per redigere il documento in modo che contenga dati basati sull'evidenza, quando disponibili. Su tutte le dichiarazioni contenute in questo documento, è stato raggiunto un accordo senza la necessità di utilizzare le tecniche di consenso di Delphi modificate. La bozza del documento è stata criticamente rivista dalla commissione Standards and Practice del CIRSE e, separatamente, dalla commissione Safety ad Health del SIR, mediante conversazioni e conferenze telefoniche, o incontri di persona. Prima della sua pubblicazione, il Comitato Esecutivo CIRSE e il Consiglio Direttivo SIR hanno approvato tale documento.

### **Introduzione**

Le procedure di radiologia interventistica sotto guida fluoroscopica sono ampiamente eseguite in Europa e negli Stati Uniti. Il numero di procedure annue nel mondo è incrementato negli ultimi 20 anni [1]. I vantaggi della radiologia interventistica per i pazienti sono molteplici e indiscutibili, ma molte di queste procedure possono produrre dosi di radiazioni per il paziente tanto elevate da provocare effetti indotti dalle stesse, e dosi professionali per i radiologi interventisti abbastanza elevate da creare preoccupazione[1-4].

Una linea guida condivisa SIR-CIRSE sulla gestione di radiazioni ha affrontato le questioni del paziente [3]. Questa linea guida serve ad affiancare quel documento, e fornisce una guida per ridurre al minimo la dose professionale di radiazioni. La dose di radiazione ricevuta dai radiologi interventisti può variare di più di un ordine di grandezza per lo stesso tipo di procedura e per dose simile sul paziente [4]. Recentemente, è stata posta particolare attenzione per quanto riguarda la dose professionale al cristallino dei radiologi [2].

Nuovi dati provenienti dalle popolazioni esposte suggeriscono che le opacità del cristallino (cataratta) si verificano a dosi di gran lunga inferiori rispetto a quelli precedentemente ritenuti causa di cataratta [5, 6].

L'analisi statistica dei dati disponibili suggerisce l'assenza di una dose soglia e, qualora ne esistesse una, è possibile che sia inferiore a 0,1 Gy [7, 8]. Inoltre, sembra che il periodo di latenza per la comparsa di cataratta indotta dalle radiazioni sia inversamente proporzionale alla dose [5].

La protezione dalle radiazioni sul lavoro è necessaria ogniqualvolta le radiazioni siano utilizzate nella pratica medica. E' particolarmente importante per le procedure mediche guidate dall'imaging [4, 9]. Queste procedure possono comportare



elevate dosi di radiazioni nella sala angiografica [10, 11]. La protezione dalle radiazioni sul lavoro è necessaria non solo durante le procedure con guida fluoroscopica, ma anche durante le procedure di TC-guidate, tra cui la fluoroscopia-TC. La fluoroscopia-TC non è una vera e propria fluoroscopia. Essa differisce dalla fluoroscopia convenzionale sia per quanto riguarda le attrezzature che per le tecniche. L'interesse della radioprotezione per la fluoroscopia-TC è leggermente diverso, in quanto mira soprattutto ad evitare una dose di radiazioni eccessiva alle mani del radiologo interventista [12, 13].

La protezione dalle radiazioni sul lavoro richiede sia un'educazione appropriata sia una formazione per i radiologi interventisti, la disponibilità di strumenti di protezione e attrezzature adeguate. Misure di radioprotezione professionale devono inoltre rispettare regolamenti locali e nazionali, e dovrebbero anche prendere in considerazione il danno ergonomico causato dai dispositivi di protezione individuale [14-16].

Sono necessarie misure di radioprotezione professionale per tutti coloro che operano nella sala angiografica. Questo include non solo tecnici e infermieri, che trascorrono molto tempo in un ambiente con radiazioni, ma anche altre figure professionali come gli anestesisti, che possono trovarsi in un ambiente con radiazioni anche solo occasionalmente. Tutti questi individui possono essere considerati lavoratori radioesposti, a seconda del loro livello di esposizione e delle normative nazionali. Tutti i lavoratori richiedono un monitoraggio adeguato, così come strumenti di protezione e attrezzature. Essi devono inoltre ricevere un'adeguata istruzione e formazione per lo svolgimento del proprio lavoro [14]. Il livello di formazione dovrebbe essere basato sul livello di rischio. Queste linee guida hanno lo scopo di fornire una revisione di base della Fisica Medica rilevante per la sicurezza professionale dalle radiazioni e di fornire raccomandazioni e una guida per i radiologi interventisti che eseguono procedure con radiazioni ionizzanti e il loro staff. In questo documento, l'enfasi è posta sulla protezione dalle radiazioni durante le procedure con guida fluoroscopica.

## Misurazione dell'Esposizione Professionale

### Quantità e Unità di misura

Le organizzazioni internazionali hanno pubblicato raccomandazioni sulle quantità e le unità che dovrebbero essere utilizzate nella dosimetria professionale [15, 17]. Le normative nazionali prevedono requisiti specifici per la dosimetria personale nella pratica interventistica. Limiti di dose per i lavoratori sono espressi in termini di dose equivalente in un organo o tessuto (HT) per l'esposizione di una parte del corpo, e in termini di dose efficace (E) per l'esposizione dell'intero corpo.

L'unità riconosciuta dal Sistema Internazionale di unità di misura (SI) per entrambe le grandezze è il Sievert (Sv).

Dose equivalente e dose efficace non possono essere misurate direttamente, ma devono essere calcolate in maniera indiretta, da grandezze più semplici che possono essere misurate con dosimetri personali.

*La dose equivalente* è la dose media assorbita in un tessuto o organo, T, moltiplicato per un fattore di ponderazione delle radiazioni,  $w_R$ . Per radiografie diagnostiche,  $w_R = 1$ , per cui la dose assorbita e la dose equivalente sono numericamente uguali.

*La dose efficace* è la somma ponderata delle dosi equivalenti per ciascun tessuto e organo del corpo. Questi fattori di ponderazione per tessuto,  $w_T$ , sono più elevati per il midollo osseo rosso, il seno, il colon, il polmone e lo stomaco e minori per la corticale ossea, le ghiandole salivari, il cervello e la pelle [15].

Un tipico dosimetro personale fornisce due valori,  $H_p(0,07)$  e  $H_p(10)$ . Questi rappresentano l'equivalente di dose nei tessuti molli rispettivamente a 0,07 mm e a 10 mm sotto la superficie corporea rispetto alla posizione del dosimetro [15]. L' $H_p(0,07)$  del dosimetro a collare indossato sopra gli indumenti protettivi (grembiule, collare para-tiroide) fornisce una stima ragionevole della dose somministrata alla superficie della pelle non schermata e al cristallino dell'occhio. La consultazione con un fisico medico qualificato è consigliata se si utilizza il dosimetro a collare per stimare la dose al cristallino dell'occhio. In Europa, l' $H_p(10)$  dal dosimetro indossato sul torace all'interno degli indumenti protettivi, viene considerata una buona stima della dose efficace dell'operatore ed è stata precedentemente considerata un indicatore adeguato del detrimento sanitario da esposizione alle radiazioni. Un unico dosimetro sotto la protezione non fornisce alcuna informazione circa la dose all'occhio.

La formula utilizzata per la stima di E dai dati dosimetrici può essere specificata dalle normative nazionali o dalla politica ospedaliera locale. Negli Stati Uniti, quando un grembiule protettivo viene indossato durante procedure mediche diagnostiche e interventistiche sotto guida fluoroscopica, il Consiglio Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Misurazioni (NCRP) raccomanda la funzione che mette in relazione i valori  $H_p(10)$  provenienti da entrambi i dosimetri, quello sul corpo e quello a collare, per stimare la dose efficace (E):

$$E \text{ (stima)} = 0.5 H_w + 0,025 H_N;$$

dove  $H_N$  è la lettura dal dosimetro al collo, al di fuori del grembiule protettivo, e  $H_w$  è la lettura dal dosimetro in vita o sul torace, sotto il grembiule protettivo [16].



### *Incertezze sulla Dosimetria Professionale*

Tutte le formule utilizzate per la stima di E dalle letture del dosimetro si basano su alcune considerazioni riguardo al personale che indossa gli indumenti protettivi. Per motivi di sicurezza, la maggior parte delle formule comunemente utilizzate sovrastima le vere dosi efficaci. Le varie formule, e le loro imprecisioni associate, sono discusse nel report NCRP 122 [16]. La formula sopra riportata è improbabile che sottovaluti E oltre una percentuale minima, o che lo sovrastimi di oltre il 100% [16].

I dosimetri personali, in sala angiografica, sono esposti a un campo di radiazione composto sia dai raggi X che irradiano il dosimetro direttamente, sia da raggi X riflessi e diffusi dal personale. Accuratezza e precisione sono condizionate da fattori che influenzano la quantità di radiazione che raggiunge il dosimetro da queste due fonti rispetto alle condizioni di taratura. Ulteriori incertezze sorgono a causa delle differenze tra le condizioni di calibrazione dei rilevatori e l'ambiente di radiazione in una sala angiografica. Il NCRP ha pubblicato una relazione completa sull'incertezza della dosimetria [18]. Risultati imprecisi relativi alla dosimetria nascono da errori o omissioni da parte di coloro che sono coinvolti nella catena logistica complessiva del programma di sorveglianza. Questi includono: indossare il dosimetro in modo improprio o in una posizione errata sul corpo, e lasciare il dosimetro in un ambiente con radiazioni. Gli individui possono anche dimenticare o volutamente non indossare il proprio dosimetro. Queste azioni si traducono in un valore non corretto di E e rendono impossibile determinare il vero rischio professionale degli utilizzatori [18].

## **Dosimetria Professionale in Sala Angiografica**

### **Uso del dosimetro**

Chi lavora con le radiazioni è monitorato per determinare il livello di esposizione. Per consentire un tempo adeguato per l'identificazione delle pratiche che portano a una dose personale elevata e per l'attuazione di modifiche di abitudini lavorative, è consigliata la sostituzione mensile del rilevatore per gli operatori che eseguono procedure interventistiche. In alcune giurisdizioni, la sostituzione mensile del rilevatore è obbligatoria. Diverse organizzazioni internazionali e nazionali hanno pubblicato raccomandazioni sulla dosimetria professionale applicabili a chi lavora in sala angiografica. Le relativamente elevate esposizioni professionali nella radiologia interventistica richiedono l'uso di solidi meccanismi di controllo per il personale. La Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP) raccomanda che i dipartimenti di radiologia interventistica sviluppino una politica per lo staff che comporti indossare due dosimetri, uno sotto il grembiule e uno a livello del collo sopra il collare di protezione [10]. Le dosi alle mani possono essere monitorate con un ulteriore dosimetro. Per le lavoratrici in stato di gravidanza, la dose fetale è solitamente stimata utilizzando un dosimetro posizionato sull'addome della madre, sotto gli indumenti protettivi. Questo dosimetro sovrastima la dose effettiva fetale perché non viene considerata l'attenuazione da parte dei tessuti della madre.

### **Limiti di Dose**

I limiti di dose per esposizioni professionali sono espressi in dosi equivalenti per gli effetti deterministici sui tessuti specifici, e come dose efficace per gli effetti stocastici su tutto il corpo.

I limiti di dose professionale raccomandati dall'ICRP sono stati adottati dalla maggior parte dei paesi del mondo, compresa l'Unione Europea e gli Stati Uniti [15].

I limiti sono descritti in modo leggermente diverso nell'Unione Europea e negli Stati Uniti. Nell'Unione europea, il limite di dose efficace è di 20 mSv all'anno, su una media di periodi di 5 anni. La dose efficace non deve superare i 50 mSv in 1 anno. I singoli membri dell'Unione europea possono impostare limiti più rigorosi. La Germania, per esempio, ha stabilito un limite di dose di 400 mSv / vita. Negli Stati Uniti, sono i governi dei singoli stati a fissare i limiti di dose professionale, ma nella maggior parte dei casi si usano le raccomandazioni sviluppate dal NCRP [20]. Tali raccomandazioni comprendono un limite occupazionale di 50 mSv in 1 anno e un limite di durata di 10 mSv moltiplicato per l'età del soggetto in anni. Sebbene le raccomandazioni dell'Unione Europea e degli Stati Uniti non siano identiche, si traducono in risultati molto simili.

Ulteriori restrizioni si applicano all'esposizione professionale delle donne in gravidanza. Per le donne che potrebbero essere in stato di gravidanza, l'ICRP raccomanda che il livello di protezione per il concepito dovrebbe essere sostanzialmente paragonabile a quello previsto per la popolazione generale [15]. Dopo che una lavoratrice abbia dichiarato il suo stato di gravidanza, le sue condizioni di lavoro devono garantire che la dose aggiuntiva per l'embrione/feto non sia superiore a circa 1 mSv durante il resto della gravidanza. Negli USA, il NCRP raccomanda 0,5 mSv come limite mensile di dose equivalente per il feto/embrione (esclusa la radiazione di fondo, medica e naturale) una volta che si sia dichiarata la gravidanza [20]. Negli USA, i lavoratori che non vogliono dichiarare la loro gravidanza non sono tenuti a farlo. La conformità è dimostrata tramite un dosimetro indossato dalla lavoratrice a livello della vita, all'interno di tutti gli indumenti protettivi, dalla data della gravidanza dichiarata fino al parto. Il dosimetro deve essere valutato mensilmente. Dosimetri elettronici possono essere utilizzati per fornire un rapido accesso ai dati [21]. In quei centri in cui



vengono utilizzati sistemi di monitoraggio dei lavoratori a due dosimetri, le lavoratrici che possono rimanere incinta dovrebbero indossare il loro rilevatore al di sotto degli indumenti protettivi, a livello della vita. I dati provenienti da questi rilevatori forniscono una stima di dose al feto dal concepimento fino alla dichiarazione di gravidanza. Le lavoratrici il cui badge 'interno' mostra una dose media di 0,1 mSv/mese sono automaticamente considerate compatibili con le raccomandazioni dell'ICRP e NCRP.

Il limite attuale per la dose annua equivalente al cristallino è di 150 mSv. Questo limite è in fase di revisione da parte di un Task Group ICRP, in quanto vi è la prova che sia troppo alto [3, 6, 7].

Il limite annuale per le mani e i piedi è di 500 mSv. La dose ricevuta dai tessuti specifici come il cristallino può essere stimata inserendo un dosimetro al di sopra o vicino al tessuto d'interesse. Il badge a 'collare' è comunemente utilizzato per stimare la dose agli occhi nelle sale angiografiche. Questo metodo è generalmente accettabile se il tubo a raggi X è montato sotto il paziente. Non è possibile stimare con precisione la dose alla mano di un operatore utilizzando un dosimetro sul corpo o al polso a causa della vicinanza delle mani al fascio di raggi X. Si raccomanda un badge ad anello per valutare la dose alla mano [19].

### **Stime del rischio**

Si considera che la dose efficace (E) sia proporzionale al rischio di cancro indotto da radiazioni. I limiti dell'ICRP e del NCRP per gli operatori e i limiti per la popolazione generale sono espressi in termini di dose efficace. L'ICRP fa riferimento a questi valori come limiti di dose, la NCRP si riferisce a loro come la massima dose ammissibile [MPD]. Le autorità regolatorie richiedono che un operatore debba ricevere una dose di radiazione non superiore alla MPD. I radiologi interventisti sono inevitabilmente irradiati nello svolgimento delle loro funzioni. Tuttavia, per un radiologo interventista che adotti tutte le opportune misure di sicurezza, è improbabile che abbia un E superiore a 10 mSv/anno, mentre è più probabile che abbia una E di 2-4 mSv/anno [22-25]. Questi valori sono ben sotto i limiti di dose MPD Europei e degli USA. Il rischio per organi specifici come le dita o il cristallino è correlato alla dose fisica erogata a tali tessuti.

## **Valutazione dei Valori della Dosimetria Personale**

### **Documentazione della Dose Personale**

Le informazioni contenute in una relazione di dose personale varia a seconda del numero, del tipo e della posizione dei dosimetri personali usati. Questo record conterrà informazioni sulla dose efficace E, valutato dalle letture di uno o due dosimetri indossati sul torace o sull'addome, sotto e/o sopra il grembiule di piombo, e può contenere informazioni sulla dose equivalente per il cristallino derivate dal dosimetro indossato a livello del collo sopra il collare della tiroide, e sulla dose equivalente alla mano derivate da un dosimetro ad anello o a braccialetto. Copie di tali relazioni di dose devono essere inviate al dipartimento e all'operatore almeno una volta all'anno. Le informazioni pertinenti contenute nella relazione dosimetrica di un operatore comprendono le dosi per il periodo e per l'anno in corso.

### **Sorveglianza della Dose Personale**

I Servizi di Radioprotezione e di Fisica Medica dovrebbero esaminare regolarmente la documentazione delle dosi personali di ciascun lavoratore. Quest'analisi assicura che i limiti di dose non vengano superati. Si valuta anche se la dose ricevuta è al livello atteso per i particolari compiti dell'operatore. I livelli delle dosi registrate dell'operatore devono essere confrontati con i livelli pregressi di dose e con i livelli medi di dose di altri operatori che svolgono un lavoro simile, nella stessa struttura o in altre strutture. In letteratura sono stati pubblicati i valori di lettura della dose personale tipici per i diversi tipi di procedure [11, 19, 26-36].

A seconda del tipo di procedura e della tecnica utilizzata, il dosaggio per operatore, per procedura, varia da 3 a 450 microSV al collo al di sopra di indumenti protettivi, da 0,1 a 32 microSV alla vita o al torace al di sotto di indumenti protettivi, e da 48 a 1280 microSV alla mano. Purtroppo, la maggior parte dei dati pubblicati sono descritti in termini di dose per procedura, e la maggior parte dei dati sono per i medici, piuttosto che per assistenti, infermieri, tecnici e altro personale. E' quindi difficile avere a disposizione dati sulle dosi mensili o annuali dei lavoratori. Comunque sia, la dose efficace per un radiologo interventista è tipicamente di 2-4 mSv/anno [22-25].

### **Indagine sulle Alte Dosi Professionali**

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) raccomanda un'indagine quando l'esposizione mensile raggiunge 0,5 mSv di dose efficace, 5 mSv di dose al cristallino, o 15 mSv alle mani o delle estremità [9]. Il responsabile della Radioprotezione o un Fisico medico qualificato devono contattare direttamente il lavoratore per determinare la causa della dose insolita e dare suggerimenti su come mantenere la dose del lavoratore al più basso livello ragionevolmente ottenibile (ALARA).



Ci si aspetta che i valori di lettura del dosimetro dei lavoratori in sala angiografica sia più alto rispetto alla maggior parte degli altri lavoratori ospedalieri. Questi ultimi dovrebbero avere un livello minimo di esposizione professionale alle radiazioni. Utilizzando gli stessi criteri d'indagine per entrambi i gruppi, si ottiene spesso l'assenza di vere motivazioni per i radiologi interventisti e, spesso, la loro conformità ad un basso uso dei rilevatori. La pubblicazione 103 dell'ICRP descrive come questa situazione potrebbe essere impedita, considerando sia la necessità di ottimizzare la protezione sia di prevenire dei limiti di dose arbitrari per le procedure: "L'applicazione dei requisiti prescrittivi deve sempre essere attentamente giustificata. In ogni caso, non devono mai essere considerati come alternativa al processo di ottimizzazione di protezione. Non è sufficiente impostare progetti o limiti operativi o obiettivi come una frazione arbitraria del limite di dose, indipendentemente dalla natura particolare dell'impianto e delle operazioni" [15].

L'indagine su un alto valore di dose personale inizia con un controllo della validità della lettura del dosimetro. Potenziali fonti di letture non valide del dosimetro comprendono indossare i dosimetri al di sopra e al di sotto del grembiule in posizione errata, indossare il dosimetro di un altro lavoratore e conservare il dosimetro in un luogo esposto a radiazioni. Se si sospetta una lettura errata, si dovrebbe analizzare la lettura del periodo di controllo successivo, col fine di assicurarsi che il problema sia stato risolto.

Se i dosimetri sono stati conservati e indossati correttamente, viene chiesto al lavoratore se ci sia un cambiamento nelle abitudini di lavoro che potrebbero spiegare l'aumento di esposizione alle radiazioni. C'è stato un nuovo tipo di procedura durante il periodo di monitoraggio? Ci sono state modifiche nelle tecniche o nelle impostazioni delle apparecchiature? Se è così, questi nuovi metodi richiedono una maggiore dose al paziente o una maggior vicinanza al paziente? Il carico o la complessità del lavoro è aumentato? A volte si può trovare una causa. Se questo è il caso, i livelli di dose dovrebbero tornare ai livelli normali nel corso del successivo periodo di monitoraggio, quando il carico di lavoro ritorna alla normalità, le impostazioni delle attrezzature vengono corrette, o vi è maggiore esperienza con una nuova procedura o tecnica. La lettura della dose del lavoratore, nel periodo successivo di monitoraggio, dovrebbe essere riesaminata per confermare che i livelli di dose siano tornati nel range previsto. Se si ritiene che la causa non sia temporanea, o se non viene identificata nessuna causa, le abitudini di lavoro individuali dovrebbero essere osservate nel corso di una serie di procedure rappresentative. L'osservatore potrebbe essere un Fisico medico o sanitario qualificato o un collega medico con conoscenza dei principi di radiazioni e il funzionamento delle specifiche apparecchiature d'imaging utilizzate. L'osservatore deve prestare molta attenzione alle impostazioni delle attrezzature (in particolare quelle che riguardano la dose al paziente e il prodotto dose-area), la vicinanza del lavoratore al paziente, e l'uso di schermi protettivi e di dispositivi di protezione individuale. Anche se i singoli lavoratori possono essere in grado di valutare le proprie abitudini di lavoro, un osservatore esterno ha una prospettiva diversa e può indicare pratiche altrimenti non riconosciute che si traducono in elevati livelli di esposizione.

Una volta che la causa(e) di dosi elevate personali siano state identificate, e siano state attuate modifiche alle pratiche di lavoro, può essere utile per il lavoratore indossare un dosimetro tempo-reale per fornire un feedback frequente dei livelli di dose di radiazioni. Con un'adeguata cooperazione e attenzione ai principi di riduzione della dose, non è generalmente necessaria una limitazione del carico di lavoro forzato per garantire il rispetto dei limiti di dose.

## **Strumenti di Protezione dalle Radiazioni**

La maggiore fonte di radioesposizione per l'operatore e il personale è la dispersione dal paziente. In generale, controllando la dose al paziente si riduce anche la dispersione e si limita la dose all'operatore. Tuttavia, l'esposizione alle radiazioni cronica nel posto di lavoro impone l'uso di strumenti di protezione al fine di limitare la dose di radiazioni ad un livello accettabile. Lo scopo degli strumenti di protezione contro le radiazioni è di migliorare la sicurezza dell'operatore e del personale senza ostacolare la procedura o compromettere la sicurezza del paziente.

### **Schermatura**

Ci sono tre tipi di schermatura: schermatura architettonica, attrezzature schermanti montate, e dispositivi di protezione personale.

La schermatura architettonica è incorporata nelle mura della sala angiografica. Questo tipo di schermatura non viene ulteriormente discusso qui. Inoltre, gli schermi laminari stazionari che poggiano sul pavimento, costruito in materiale plastico contenente piombo, sono disponibili e sono utili per fornire protezione aggiuntiva per gli operatori e il personale. Sono particolarmente adatti agli infermieri e al personale di anestesia [37].

Le attrezzature schermanti montate includono teli protettivi sospesi al tavolo e al soffitto. Tende sospese pendono dal lettino del paziente sul lato tra il tubo a raggi X e l'operatore. Questi presidi devono sempre essere impiegati, poiché hanno dimostrato di ridurre in modo sostanziale la dose all'operatore [38]. Purtroppo, non possono essere utilizzati se il



sistema tubo radiogeno-detettori (arco a C) è in posizione obliqua o laterale. Gli schermi sospesi al soffitto, generalmente costruiti con plastica trasparente contenente piombo, dovrebbero essere utilizzati indipendentemente dalla distanza. Gli schermi, correttamente posizionati, hanno dimostrato di ridurre drasticamente la dose all'occhio dell'operatore [39, 40]. Ora si ritiene che la dose soglia per la formazione della cataratta possa essere raggiunta in pochi anni per un operatore moderatamente attivo, così gli schermi o qualche altra forma di protezione per gli occhi devono essere utilizzati da chiunque esegua regolarmente procedure di radiologia interventistica [2]. Sono stati documentati danni al cristallino tra gli operatori e il personale quando mancano i sistemi schermanti, durante procedure interventistiche complesse [41]. Sono attualmente disponibili anche teli di protezione monouso per i pazienti. Questi contengono elementi metallici (bismuto o tungsteno-antimonio) e vengono posizionati sul paziente dopo che il sito operatorio è stato preparato e coperto [42, 43]. Essi hanno dimostrato di ridurre la dose all'operatore in maniera sostanziale, con riduzione delle letture di dose di 12 volte per gli occhi, 26 volte per la tiroide, e 29 volte per le mani [43]. Nonostante il loro uso aggiunga un costo aggiuntivo alla procedura, i teli protettivi monouso devono essere considerati per le procedure complesse in cui le mani dell'operatore devono essere in prossimità del campo di radiazione (per esempio, nella gestione di fistole per dialisi e trapianti, negli interventi biliari e genitourinari) [43].

### **Dispositivi di Protezione Individuale**

Dispositivi di protezione personali includono grembiuli, collari per la tiroide, occhiali e guanti. I grembiuli di protezione e i collari per la tiroide sono il principale strumento di radioprotezione per gli operatori in radiologia interventistica: essi dovrebbero essere impiegati sempre. La configurazione gilet/gonna è preferita da molti operatori, per ridurre il rischio di lesioni muscoloscheletriche e alla schiena [44]. Questo stile avvolgente ha tipicamente una piombo-equivalenza di 0.25mm in modo che, quando indossato, il doppio spessore fornisce anteriormente 0,5 mm di piombo-equivalenza. Operatori e personale che lavorano in sala angiografica regolarmente, dovrebbero essere forniti di grembiuli adeguatamente attrezzati, sia per ridurre i rischi ergonomici sia per garantire una protezione ottimale dalle radiazioni [45]. I grembiuli devono essere ispezionati fluoroscopicamente su base annuale, per rilevare il deterioramento e i difetti del materiale protettivo [46]. A causa dei rischi ergonomici dei dispositivi di protezione individuale (in particolare grembiuli di piombo), sono stati fatti tentativi di ridurre la fatica e le lesioni connesse con l'abbigliamento protettivo pesante [44]. Una prima versione di "grembiule senza peso" è un dispositivo rotante a cui il grembiule è appeso. Questo è posizionato dietro l'operatore e si muove solidalmente allo stesso [47]. Una versione di più recente introduzione, viaggia su una serie di binari a soffitto e si indossa facilmente in pochi secondi [48]. Questo nuovo dispositivo si estende dalla testa alle porzioni distali degli arti inferiori e fornisce una protezione sostanziale a chi lo indossa. Dispositivi come questi sono promettenti per una migliore ergonomia e sicurezza. Non appena i nuovi dispositivi di protezione saranno disponibili, dovrebbero essere valutati criticamente e adottati qualora dimostrino di migliorare la protezione dalle radiazioni e riducano i rischi ergonomici.

Poiché il limite professionale attuale dell'ICRP per l'esposizione agli occhi di 150 mSv/anno potrebbe essere troppo alto, e poiché la formazione di cataratta può essere un effetto stocastico, gli operatori sono invitati ad utilizzare la protezione per gli occhi in ogni momento [2, 15]. Gli occhiali con lenti piombate sono un'alternativa agli schermi sospesi al soffitto per questo scopo. Gli occhiali piombati con lenti grandi e protezioni laterali offrono maggiore protezione rispetto agli occhiali da vista senza queste caratteristiche. Essi contribuiscono a ridurre al minimo la dispersione che raggiunge l'operatore lateralmente e la dispersione verso la testa [49]. Il principale svantaggio di occhiali oculari di piombo è il peso e la scomodità.

In generale, le mani dell'operatore devono essere tenute fuori del fascio di radiazione primaria. Guanti piombati possono essere utili per la protezione dalle radiazioni in quelle rare occasioni in cui le mani dell'operatore devono essere nel fascio di radiazione primaria, ma non forniscono protezione in questa situazione. A causa dell'incremento della dose quando qualsiasi schermatura è posizionata in corrispondenza del fascio primario, e il falso senso di sicurezza che forniscono, i guanti protettivi possono provocare un aumento della dose di radiazione alla mano, quando la mano con guanto si trova all'interno del fascio primario [50]. I guanti piombati non sono pertanto raccomandati. Il modo migliore per proteggere le mani dell'operatore è tenerli fuori del campo di radiazione. I guanti piombati possono essere di beneficio se le mani dell'operatore siano vicino, ma non all'interno del fascio di radiazione primaria.

### **Efficacia della schermatura**

Il materiale schermante per i grembiuli protettivi si è evoluto da pesante, vinile o gomma impregnata con piombo, con un equivalente di schermatura di 1 mm di piombo, al più leggero, composito (piombo e altri elementi ad alto numero atomico) o costituito interamente da materiali non contenenti piombo. Questi materiali più leggeri hanno largamente sostituito i grembiuli con tutto piombo del passato e tipicamente sono progettati per fornire 0,5 mm di protezione piombo-equivalente anteriormente [51]. La trasmissione di raggi X da 70 ai 100-kVp attraverso 0,5 mm piombo varia dallo 0,5% al 5% [22, 46]. La protezione piombo equivalente fornita da grembiuli di composito e senza piombo è risultata





variabile, con valori che vanno dallo 0,6% al 6,8% di trasmissione [46]. Le lenti di piombo riducono la dose all'occhio dell'operatore dall'esposizione frontale per un fattore di circa 8-10 [40, 52]. Quando si considera l'esposizione laterale (situazione tipica nella pratica clinica), il fattore di protezione diminuisce tra 2 e 3 [53]. La combinazione dei vari tipi di schermatura (tende da tavolo sospese, schermi a soffitto in sospensione, grembiuli, occhiali piombati, schermi mobili) si traduce in una riduzione della dose importante per l'operatore [37, 40]. Questo dovrebbe essere la norma, non l'eccezione.

### Dispersione

Una trattazione dettagliata sulle curve-isodose di dispersione va oltre lo scopo di questo documento. I lettori sono rinvii all'esaustivo lavoro presente in letteratura [2, 54-56]. L'entità e la distribuzione della radiazione diffusa sono influenzate da molti fattori, tra cui le dimensioni del paziente, l'angolazione dell'arco a C, la posizione del paziente, la filtrazione, le impostazioni fluoroscopiche, e l'uso di schermature. Nel complesso, in un ambiente non schermato, e per una proiezione postero-anteriore (PA), l'esposizione è maggiore al di sotto del tavolo, minore a livello della vita dell'operatore, e ancora meno all'altezza degli occhi. Tuttavia, si possono raggiungere notevoli dosi all'occhio dell'operatore in circostanze sfavorevoli (paziente di grosse dimensioni, alte dosi della fluoroscopia/fluorografia, angolazione dell'arco), sottolineando l'importanza di una protezione adeguata, particolarmente per gli occhi [54, 57].

### Consigli pratici per ridurre o minimizzare la dose di Radiazioni professionali

La riduzione della dose-paziente si tradurrà in una proporzionale riduzione della dose di diffusione all'operatore. Pertanto, tecniche che riducono la dose al paziente in genere riducono anche la dose professionale. Questa è una situazione "win-win"; ne beneficate voi e il vostro paziente. (Naturalmente, la maggiore riduzione si verifica quando l'imaging viene effettuato senza radiazioni ionizzanti, ad esempio con gli ultrasuoni). Ulteriori tecniche possono essere utilizzate in procedure a guida fluoroscopica per ridurre la dose professionale. Entrambi i tipi di tecniche sono elencati nella Tabella 1 e descritte più dettagliatamente in seguito.

### Minimizzare il Tempo di Fluoroscopia

La fluoroscopia deve essere utilizzata solo per osservare oggetti o strutture in movimento.

<b>Tabella 1: Punti chiave per una pratica sicura</b>
• Ridurre al minimo il tempo di fluoroscopia.
• Ridurre al minimo il numero delle immagini fluorografiche.
• Utilizzare le tecnologie disponibili di riduzione della dose-paziente.
• Utilizzare una buona geometria della catena delle immagini
• Utilizzare la collimazione.
• Utilizzare tutte le informazioni già disponibili per pianificare la procedura interventistica.
• Posizionarsi in un'area a bassa dispersione.
• Utilizzare una schermatura di protezione.
• Utilizzare adeguate apparecchiature di imaging fluoroscopico.
• Ottenere una formazione adeguata.
• Indossare i dosimetri e conoscere le proprie dosi!

Nota: Vedere il testo per i dettagli

Rivedere l'ultimo fermo-immagine per lo studio, consultarsi, piuttosto di eseguire un'ulteriore esposizione fluoroscopica. Se disponibile, utilizzare la registrazione fluoroscopica in loop per rivedere i processi dinamici. Utilizzare brevi momenti di fluoroscopia invece del funzionamento continuo. La fluoroscopia per determinare o regolare il posizionamento delle barre collimatrici può essere eliminata utilizzando la funzione di collimazione virtuale, quando presente.

### Minimizzare il Numero di Immagini Fluorografiche

Per la sottrazione angiografica digitale, utilizzare "frame rate" variabili su misura per l'esame (ad esempio, 1 immagine/s per 6 s, quindi 1 immagine ogni due secondi per 24 s, in caso di arteriografia dell'asse celiaco) invece che un frame rate costante (ad esempio, 2 immagini/s per 30 s). Sequenze d'imaging suggerite sono disponibili in alcuni vecchi libri di testo [58,59]. Per la documentazione, usare le immagini memorizzate nell'ultimo fermo-immagine, invece di acquisirne



ulteriori. Se disponibile, utilizzare un ciclo di fluoroscopia memorizzato al posto di un'acquisizione fluorografica, se la qualità dell'immagine è sufficiente per documentare i risultati.

#### **Uso di Tecnologie Disponibili per la Riduzione della Dose-Paziente**

Questi includono le impostazioni fluoroscopiche a bassa dose, fluoroscopia pulsata a basso frame-rate, la rimozione della griglia antiscatter, la filtrazione del raggio spettrale, e l'uso di una maggiore energia del fascio di raggi X. Una migliore elaborazione delle immagini attraverso l'unità fluoroscopica può compensare in misura considerevole la ridotta qualità dell'immagine a causa della diminuzione dei livelli d'esposizione. Cateteri con reperi molto radiopachi sono più facili da vedere. Bambini e alcuni piccoli adulti possono essere esposti senza la griglia antiscatter. Questa tecnica riduce la dose al costo di una qualità d'immagine leggermente inferiore.

#### **Usare una buona geometria per le acquisizioni**

Posizionare il supporto del paziente in modo che il paziente sia il più lontano possibile dal tubo radiogeno. Posizionare il ricevitore dell'immagine il più vicino possibile al paziente.

#### **Usare la collimazione**

Regolare strettamente le barre collimatrici alla zona d'interesse. Una collimazione stretta riduce la dose al paziente e migliora la qualità dell'immagine, riducendo la dispersione. Quando s'inizia una procedura, posizionare l'arco a C sopra l'area di interesse, con i collimatori abbastanza chiusi. Aprire i collimatori gradualmente fino ad ottenere il campo visivo desiderato.

#### **Utilizzare tutte le informazioni disponibili per pianificare la procedura interventistica**

Quando appropriato, utilizzare l'imaging pre-procedura (ecografia, RM, TC) per definire l'anatomia e la patologia in questione e per pianificare la procedura interventistica.

#### **Posizionarsi in un'area a bassa dispersione**

Stare il più lontano possibile dal fascio di raggi X. (Ricordate la legge dell'inverso del quadrato!) Utilizzare prolunghe per i tubi o porta-ago in modo che le mani siano lontano dal campo esposto. Non mettere mai le mani nel fascio di raggi X. Utilizzare gli iniettori di mezzo di contrasto quando possibile, e uscire dalla sala angiografica durante le acquisizioni fluorografiche (angiografia a sottrazione digitale). Quando si utilizzano proiezioni oblique o laterali, tenere presente che la massima intensità di radiazione diffusa è situata dal lato del paziente da cui entrano i raggi X. Quando si utilizzano queste proiezioni, il tubo a raggi X deve essere sul lato opposto all'operatore quando possibile. Evitare l'uso di apparecchiature con tubi radiogeni posti al di sopra del tavolo porta-paziente per le procedure interventistiche.

#### **Utilizzare gli schermi protettivi**

Quando si eseguono interventi con guida fluoroscopica, bisogna indossare un grembiule di protezione individuale e un collare per la tiroide. Schermi sospesi al soffitto sono in grado di fornire una significativa riduzione della dose, soprattutto su aree non protette della testa e del collo. Gli occhiali con lenti piombate sono consigliati se gli schermi sospesi non possono essere utilizzati continuamente durante l'intera procedura. Le tende piombate sotto il tavolo riducono la dose agli arti inferiori in modo sostanziale e devono essere utilizzati quando possibile.

#### **Usare apparecchiature appropriate di imaging fluoroscopico**

Sistemi di imaging ottimizzati per un tipo di procedura o per una parte del corpo possono non essere ottimali per altre tipologie di procedura o altre parti del corpo. L'uso di apparecchiature fluoroscopiche in condizioni non ottimali spesso si traduce in una maggiore dose di radiazioni. Inoltre, le procedure ad alta dose di radiazione devono essere eseguite con sistemi fluoroscopici che incorporano tecnologie raccomandate per la riduzione della dose e conformi ai più attuali standard della Commissione Elettrotecnica Internazionale [60]. Incoraggiate il vostro istituto all'acquisto di questo tipo di apparecchiature per le sale angiografiche.

#### **Ottenere una formazione adeguata**

L'Agenzia internazionale dell'energia atomica ha prodotto un programma di formazione gratuito, che può essere scaricato all'indirizzo [http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/-AdditionalResources/Training/1\\_TrainingMaterial/Radiology.htm](http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/-AdditionalResources/Training/1_TrainingMaterial/Radiology.htm). Il progetto MARTIR (Multimedia e Audiovisual Radiation Protection Training in Interventional Radiology) ha prodotto anche un programma di formazione gratuito, originariamente distribuito su CD-ROM, che è ora disponibile su Internet (solo Windows), all'indirizzo <http://ec.europa.eu/>





energy/wcm/nuclear/cd\_rom\_martir\_project.zip. Il programma di formazione MARTIR è più vecchio ma ha diversi video interessanti, molte diapositive, e una buona funzione di auto-valutazione (molto utile per specializzandi e borsisti). Tutto il personale coinvolto nella procedura dovrebbe avere una conoscenza generale su come operare in sicurezza in un ambiente con radiazioni. Si dovrebbe avere molta familiarità con il funzionamento in particolare con l'attrezzatura fluoroscopica che si sta utilizzando. Se sono disponibili appropriati simulatori medici, si dovrebbe considerare il loro utilizzo per imparare e mettere in pratica nuove abilità prima di applicarle ai pazienti.

### **Indossate i vostri dosimetri e conoscete la vostra dose!**

È necessario che voi conosciate la vostra dose professionale al fine di garantire che stiate lavorando in modo sicuro. I dati di dose non saranno accurati se non indosserete sempre e correttamente i vostri dosimetri.

### **Responsabilità della Direzione**

La direzione dovrebbe garantire un livello adeguato di risorse, come personale, strutture e attrezzature, al fine di garantire che la dose di radiazioni sia adeguatamente controllata. Strutture e attrezzature comprendono, ma non sono limitati a, schermatura, strumenti di monitoraggio della radiazione e indumenti protettivi. La garanzia di qualità è una componente essenziale di qualsiasi programma di monitoraggio [61]. Le dosi professionali dovrebbero essere analizzate per ogni reparto; devono essere esaminati valori anomali e dosi elevate. I grembiuli di protezione devono essere esaminati fluoroscopicamente ogni anno e controllati visivamente su base giornaliera o settimanale per danni e difetti [46]. Sono necessari metodi standardizzati per i test di accettazione dei grembiuli di protezione, a causa della grande variabilità nei valori di attenuazione effettivi dei diversi modelli [46, 51].

Programmi di formazione adeguati e pertinenti devono essere forniti a tutti i livelli del personale all'interno dell'organizzazione, compresa la direzione, per far sviluppare un impegno verso la radioprotezione e per far in modo che tutti gli interessati possano contribuire alla riduzione ed al controllo delle esposizioni [61].

### **Bibliografia**

1. Miller DL (2008) Overview of contemporary interventional fluoroscopy procedures. *Health Phys* 95:638–644
2. Vañó E, González, Fernández JM, Haskal ZJ (2008) Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted. *Radiology* 248:945–953
3. Stecker MS, Balter S, Towbin RB et al (2009) Guidelines for patient radiation dose management. *J Vasc Interv Radiol* 20: S263–S273
4. Kim KP, Miller DL, Balter S et al (2008) Occupational radiation doses to operators performing cardiac catheterization procedures. *Health Phys* 94:211–227
5. Kleiman NJ (2007) Radiation cataract. In: Working party on research implications on health and safety standards of the article 31 group of experts. *Radiation Protection 145 EU Scientific Seminar 2006. New insights in radiation risk and basic safety standards*. European Commission, Brussels, pp 81–95. Available at: [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/145\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/145_en.pdf). Accessed August 16, 2009
6. Worgul BV, Kundiyev YI, Sergiyenko NM et al (2007) Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res* 167:233–243
7. Nakashima E, Neriishi K, Minamoto A (2006) A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000–2002: a threshold analysis. *Health Phys* 90:154–160
8. Neriishi K, Nakashima E, Minamoto A et al (2007) Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold. *Radiat Res* 168:404–408
9. World Health Organization (2000) *Efficacy and radiation safety in interventional radiology*. World Health Organization, Geneva
10. International Commission on Radiological Protection (2000) *Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures*. ICRP Publication 85. *Ann ICRP* 30:7–67
11. Vañó E, González L, Guibelalde E, Fernández JM, Ten JI (1998) Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. *Br J Radiol* 71:954–960
12. Stoeckelhuber BM, Leibecke T, Schulz E et al (2005) Radiation dose to the radiologist's hand during continuous CT fluoroscopy-guided interventions. *CardioVasc Interv Radiol* 28:589–594
13. Hohl C, Suess C, Wildberger JE et al (2008) Dose reduction during CT fluoroscopy: phantom study of angular beam modulation. *Radiology* 246:519–525
14. European Commission (2000) *Radiation protection 116. Guidelines on education and training in radiation protection for medical exposures*. Directorate General for the Environment, European Commission, Luxembourg. Available at:



- [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation\\_protection/doc/publication/116pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/116pdf). Accessed August 16, 2009
15. International Commission on Radiological Protection (2007) The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* 37:1–332
  16. National Council on Radiation Protection and Measurements (1995) Use of personal monitors to estimate effective dose equivalent and effective dose to workers for external exposure to low-LET radiation. NCRP Report No. 122. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD
  17. International Commission on Radiological Protection (1996) Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. Adopted by the ICRP and ICRU in September 1995. *Ann ICRP* 26:1–205
  18. National Council on Radiation Protection and Measurements (2008) Uncertainties in the measurement and dosimetry of external radiation: recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP Report No. 158. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD
  19. Whitby M, Martin CJ (2005) A study of the distribution of dose across the hands of interventional radiologists and cardiologists. *Br J Radiol* 78:219–229
  20. National Council on Radiation Protection and Measurements (1993) Limitation of exposure to ionizing radiation. NCRP Report No. 116. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD
  21. Balter S, Lamont J (2002) Radiation and the pregnant nurse. *Cath Lab Dig* 10:e1. Available at: <http://www.cathlabdigest.com/article/357>. Accessed August 16, 2009
  22. Marx MV, Niklason L, Mauger EA (1992) Occupational radiation exposure to interventional radiologists: a prospective study. *J Vasc Interv Radiol* 3:597–606
  23. Tsapaki V, Kottou S, Vano E et al (2004) Occupational dose constraints in interventional cardiology procedures: the DIMOND approach. *Phys Med Biol* 49:997–1005
  24. Delichas M, Psarrakos K, Molyvda-Athanassopoulou E et al (2003) Radiation exposure to cardiologists performing interventional cardiology procedures. *Eur J Radiol* 48:268–273
  25. Dendy PP (2008) Radiation risks in interventional radiology. *Br J Radiol* 81:1–7
  26. Stratakis J, Damilakis J, Hatzidakis A, Theocharopoulos N, Gourtsoyiannis N (2006) Occupational radiation exposure from fluoroscopically guided percutaneous transhepatic biliary procedures. *J Vasc Interv Radiol* 17:863–871
  27. Layton KF, Kallmes DF, Cloft HJ, Schueler BA, Sturchio GM (2006) Radiation exposure to the primary operator during endovascular surgical neuroradiology procedures. *Am J Neuroradiol* 27:742–743
  28. Stavas JM, Smith TP, DeLong DM, Miller MJ, Suhocki PV, Newman GE (2006) Radiation hand exposure during restoration of flow to the thrombosed dialysis access graft. *J Vasc Interv Radiol* 17:1611–1617
  29. Lipsitz EC, Veith FJ, Ohki T et al (2000) Does the endovascular repair of aortoiliac aneurysms pose a radiation safety hazard to vascular surgeons? *J Vasc Surg* 32:704–710
  30. Buls N, Pages J, Mana F, Osteaux M (2002) Patient and staff exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Br J Radiol* 75:435–443
  31. Sulieman A, Theodorou K, Vlychou M et al (2008) Radiation dose optimisation and risk estimation to patients and staff during hysterosalpingography. *Radiat Prot Dosimetry* 128:217–226
  32. Hellowell GO, Mutch SJ, Thevendran G, Wells E, Morgan RJ (2005) Radiation exposure and the urologist: what are the risks? *J Urol* 174:948–952
  33. Botwin KP, Thomas S, Gruber RD et al (2002) Radiation exposure of the spinal interventionalist performing fluoroscopically guided lumbar transforaminal epidural steroid injections. *Arch Phys Med Rehab* 83:697–701
  34. Harstall R, Heini PF, Mini RL, Orlor R (2005) Radiation exposure to the surgeon during fluoroscopically assisted percutaneous vertebroplasty: a prospective study. *Spine* 30:1893–1898
  35. Kallmes DF, O E, Roy SS et al (2003) Radiation dose to the operator during vertebroplasty: prospective comparison of the use of 1-cc syringes versus an injection device. *Am J Neuroradiol* 24:1257–1260
  36. Synowitz M, Kiwit J (2006) Surgeon's radiation exposure during percutaneous vertebroplasty. *J Neurosurg Spine* 4:106–109
  37. Luchs JS, Rosioreanu A, Gregorius D, Venkataramanan N, Koehler V, Ortiz AO (2005) Radiation safety during spine interventions. *J Vasc Interv Radiol* 16:107–111
  38. Shortt CP, Al-Hashimi H, Malone L, Lee MJ (2007) Staff radiation doses to the lower extremities in interventional radiology. *CardioVasc Interv Radiol* 30:1206–1209
  39. Maeder M, Brunner-La Rocca HP, Wolber T et al (2006) Impact of a lead glass screen on scatter radiation to eyes and hands in interventional cardiologists. *Cath Cardiovasc Interv* 67:18–23
  40. Thornton RH, Altamirano J, Dauer L (2009) Comparing strategies for IR eye protection. *J Vasc Interv Radiol* 20:S52–S53; abstract
  41. Vañó E, González L, Beneytez F, Moreno F (1998) Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. *Br J Radiol* 71:728–733



42. Dromi S, Wood BJ, Oberoi J, Neeman Z (2006) Heavy metal pad shielding during fluoroscopic interventions. *J Vasc Interv Radiol* 17:1201–1206
43. King JN, Champlin AM, Kelsey CA, Tripp DA (2002) Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *Am J Roentgenol* 178:153–157
44. Klein LW, Miller DL, Balter S et al (2009) Occupational health hazards in the interventional laboratory: time for a safer environment. *J Vasc Interv Radiol* 20:147–152 quiz 153
45. Detorie N, Mahesh M, Schueler BA (2007) Reducing occupational exposure from fluoroscopy. *J Am Coll Radiol* 4:335–337
46. Christodoulou EG, Goodsitt MM, Larson SC, Darner KL, Satti J, Chan HP (2003) Evaluation of the transmitted exposure through lead equivalent aprons used in a radiology department, including the contribution from backscatter. *Med Phys* 30:1033–1038
47. Pelz DM (2000) Low back pain, lead aprons, and the angiographer. *Am J Neuroradiol* 21:1364
48. Savage C, Carlson L, Clements J, Rees C (2009) Comparison of the Zero Gravity system to conventional lead apron for radiation protection of the interventionalist. *J Vasc Interv Radiol* 20:S53
49. Cousin AJ, Lawdahl RB, Chakraborty DP, Koehler RE (1987) The case for radioprotective eyewear/facewear. Practical implications and suggestions. *Invest Radiol* 22:688–692
50. Wagner LK, Mulhern OR (1996) Radiation-attenuating surgical gloves: effects of scatter and secondary electron production. *Radiology* 200:45–48
51. Finnerty M, Brennan PC (2005) Protective aprons in imaging departments: manufacturer stated lead equivalence values require validation. *Eur Radiol* 15:1477–1484
52. Marshall NW, Faulkner K, Clarke P (1992) An investigation into the effect of protective devices on the dose to radiosensitive organs in the head and neck. *Br J Radiol* 65:799–802
53. Moore WE, Ferguson G, Rohrman C (1980) Physical factors determining the utility of radiation safety glasses. *Med Phys* 7:8–12
54. Balter S (1999) Radiation safety in the cardiac catheterization laboratory: basic principles. *Cath Cardiovasc Interv* 47:229–236 55.
55. Whitby M, Martin CJ (2003) Radiation doses to the legs of radiologists performing interventional procedures: Are they a cause for concern? *Br J Radiol* 76:321–327 56.
56. Schueler BA, Vrieze TJ, Bjarnason H, Stanson AW (2006) An investigation of operator exposure in interventional radiology. *Radiographics* 26:1533–1541 57.
57. Balter S, Sones FM, Brancato R (1978) Radiation exposure to the operator performing cardiac angiography with U-arm systems. *Circulation* 58:925–932 58.
58. Kandarpa K, Aruny JE (2002) *Handbook of interventional radiologic procedures*, 3rd edn. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
59. Bakal CW (2002) *Vascular and interventional radiology: principles and practice*. Thieme, New York
60. International Electrotechnical Commission (2000) Report 60601. Medical electrical equipment—Part 2–43: particular requirements for the safety of X-ray equipment for interventional procedures. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland
61. International Commission on Radiological Protection (1997) General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. *Ann ICRP* 27:1–60