

INTRODUZIONE

La direttiva europea 59/2013 ha stabilito in 20 mSv il nuovo limite di dose equivalente annuale per il cristallino dei lavoratori esposti rispetto ai 150 mSv della precedente legislazione. Il recepimento a livello nazionale della

direttiva da parte del d.lgs. 101/2020 ha reso necessario individuare e mettere a punto ulteriori misure di cautela e correlate procedure di ottimizzazione della protezione. La categoria di lavoratori maggiormente interessata è quella degli operatori sanitari che eseguono procedure chirurgico-interventistiche servendosi dell'ausilio dei raggi X. Tali operatori, infatti, non potendosi allontanare dal paziente, e quindi dalla sorgente di raggi X, necessitano di misure di radioprotezione efficaci e al contempo ergonomiche, che garantiscano la sicurezza senza inficiare il risultato clinico.

Ogni possibile strategia di radioprotezione in radiologia interventistica dipende da molti fattori quali la tipologia di procedura, l'apparecchiatura disponibile, il ruolo dei professionisti sanitari coinvolti, la loro formazione, il carico di lavoro, i dispositivi di protezione. Sulla base di queste variabili viene effettuata dall'esperto di radioprotezione una valutazione preventiva, volta a classificare i lavoratori, a indicare quali presidi radioprotezionistici utilizzare, a valutare anche il possibile utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI) (occhiali anti-X, camici piombati, ecc.), di dispositivi di protezione collettiva (DPC), (schermi mobili, paratie, ecc.) e i sistemi di monitoraggio dosimetrico da adottare.

Queste tematiche sono state affrontate all'interno dell'attività di ricerca condotta nel progetto Bric Inail 2020 - 2022 (Id 45) 'Studio multicentrico dell'esposizione a radiazioni ionizzanti del cristallino degli operatori sanitari nelle sale operatorie' (per l'identificazione del relativo gruppo di lavoro si veda in fondo al testo), i cui risultati hanno portato alla stesura delle seguenti indicazioni operative che possano auspicabilmente es-

sere di ausilio a tutti gli operatori coinvolti nelle attività cliniche di cui trattasi.

DISCUSSIONE

Lo studio ha coinvolto diversi centri, così da tenere in considerazione le differenze operative locali, ed è stato condotto con l'obiettivo di rispondere al meglio a tipici quesiti che è possibile correlare con l'applicazione del principio di ottimizzazione ('quale è il livello di esposizione per il cristallino degli operatori?', 'a chi assegnare un dosimetro dedicato per la dosimetria del cristallino?', 'quale dosimetro e dove posizionarlo?', 'a chi assegnare DPI?', 'quali DPI adottare?', 'come utilizzare correttamente i DPI?'). Le misure in vivo sono state supportate da misure su fantocci antropomorfi che riproducevano alcuni setting clinici. Un aspetto critico preso in considerazione è l'individuazione dei dispositivi di protezione più adeguati e le loro modalità di utilizzo nella pratica clinica.

Efficacia dei dispositivi di protezione

L'attenuazione nominale di un dispositivo è dichiarata dal costruttore che la caratterizza in una condizione standard di laboratorio, come indicato nella norma di buona tecnica IEC 61331-3. In questo studio è stata valutata l'efficacia protettiva di varie tipologie di occhiali, visiere, schermi pensili e telini anti-X, in condizioni di esposizione controllate simulanti diversi scenari operativi. Le misure sono state effettuate utilizzando fantocci antropomorfi e un'apparecchiatura angiografica. I fantocci sono stati posizionati in modo da riprodurre la posizione del primo, del secondo operatore e dell'anestesista, mentre l'apparecchiatura è stata posizionata nelle principali proiezioni adottate in radiologia interventistica. I valori di protezione misurati in termini di *dose reduction factor* (DRF) hanno mostrato una forte dipendenza non solo dall'attenuazione nominale del materiale schermante costituente il dispositivo, ma anche dalle dimensioni e dalla forma di quest'ultimo oltretutto dalla geometria di irraggiamento. In particolare, si è osservato che le visiere integrali e gli occhiali con lenti e montatura schermanti (Figura 1),

Figura 1

Tipologie di DPI più efficaci



(Immagini cortesemente fornite da Adriana Taddeucci - Aou Careggi)

andando a ridurre l'angolo in cui il cristallino risulta scoperto rispetto alla radiazione diffusa proveniente dal paziente, mantengono un elevato potere attenuante anche in condizioni di irraggiamento laterale o con l'arco in posizione diversa dall'antero-posteriore. Questa osservazione è valida per il primo e secondo operatore, mentre nella posizione occupata dall'anestesista la dipendenza dalla geometria di irraggiamento influisce in minor misura sul potere attenuante degli occhiali/visiera.

Per quanto riguarda la valutazione degli schermi personali e dei telini sterili radio-assorbenti, è emerso che il potere attenuante risente della proiezione adottata, con valori di riduzione dell'esposizione del cristallino nel range 2 - 7 per la paratia, e 1,5 - 3 per il telino. Se vengono utilizzati assieme tale dipendenza si riduce e il potere attenuante complessivo risulta molto elevato, oltre il 90% per il primo operatore (Figura 2), e quindi comparabile all'attenuazione dei dispositivi oculari.

Figura 2

Paratia mobile e telino anti-X



(Immagini cortesemente fornite da Adriana Taddeucci - Aou Careggi)

Livelli di esposizione del cristallino e posizionamento del dosimetro

Un elemento essenziale per la valutazione preliminare dell'esperto di radioprotezione è il legame tra il *Kerma air product* (KAP) e il livello di esposizione del lavoratore. Il KAP è un indicatore del livello di esposizione di un paziente durante una procedura. In termini meno tecnici si intende avere una correlazione fra l'esposizione del paziente, e quindi indirettamente il numero di procedure, con l'esposizione del lavoratore, per poter fare una previsione di quanta dose assorbirà il cristallino. Questa stima è affetta da grande incertezza, che porta ad un approccio conservativo, ma tuttavia è necessaria per poter classificare il lavoratore e definire la strategia di protezione.

È inoltre essenziale definire quali lavoratori necessitino di un monitoraggio diretto dell'esposizione del cristallino, ovvero da effettuarsi attraverso un dosimetro dedicato. In questo studio sono state effettuate misure per la stima della correlazione tra la dose assorbita dal cristallino e tutte le altre letture dosimetriche ottenute utilizzando dosimetri posizionati in punti diversi (all'emittoce sinistro e destro, presso la tiroide, in prossimità di entrambi gli occhi, sulla fronte e all'altezza del naso), utilizzando fantocci antropomorfi e un'apparecchiatura per angiografia digitale.

È stato inoltre effettuato un esteso monitoraggio multicentrico eseguito durante l'attività clinica in cui tutti

gli operatori coinvolti sono stati dotati di più dosimetri personali. Il monitoraggio ha visto coinvolti 7 centri, in cui venivano svolte le principali tipologie di procedure vascolari, cardiologiche, di radiologia e neuroradiologia interventistica, biopsia TC guidata, per un totale di circa 600 procedure, come a titolo didascalico e di esempio evidenziato in Figura 3.

Le valutazioni hanno preso in considerazione il primo, il secondo operatore e il personale presente in sala durante la procedura.

Dalle valutazioni su fantoccio è emerso che il dosimetro posizionato vicino all'occhio più esposto fornisce la stima più accurata della dose assorbita dal cristallino. Dalle misure in sala e su fantoccio è stato evidenziato che se si utilizza il dosimetro al petto esterno per stimare la dose al cristallino, per primo e secondo operatore e in generale per gli operatori non circolanti nella sala, è necessario prestare attenzione alla lateralità. Infatti, se il dosimetro è indossato sull'emittoce omolateralmente o controlateralmente rispetto all'occhio più esposto si può avere una differenza nella stima della dose al cristallino molto significativa (fino a un fattore 4).

La correlazione tra il KAP e la dose assorbita dal cristallino è risultata dipendente anche da modeste variazioni di geometria.

Dal monitoraggio multicentrico sono stati ricavati i valori del rapporto fra la dose misurata dal dosimetro posizionato vicino all'occhio più esposto dei lavoratori

e KAP, in assenza di DPI oculari. In presenza di schermo pensile tali valori sono distribuiti nell'intervallo (0,2 - 0,6) $\mu\text{Sv}/(\text{Gy}\cdot\text{cm}^2)$ e (0,1 - 0,2) $\mu\text{Sv}/(\text{Gy}\cdot\text{cm}^2)$ per primo e secondo operatore rispettivamente. In assenza di schermo pensile tali intervalli sono (1,0 - 5,0) $\mu\text{Sv}/(\text{Gy}\cdot\text{cm}^2)$ e (0,3 - 1,5) $\mu\text{Sv}/(\text{Gy}\cdot\text{cm}^2)$ per primo e secondo operatore rispettivamente.

INDICAZIONI OPERATIVE

Di seguito le regole che - in base allo studio condotto - vanno considerate determinanti per l'ottimizzazione della radioprotezione del cristallino degli operatori coinvolti nelle procedure interventistiche.

1. Quando necessario, garantire la miglior stima della dose al cristallino fornendo all'operatore un dosimetro personale dedicato, che risponda in termini di Hp(3), posizionato in corrispondenza della tempia sul lato più esposto alla sorgente di radiazioni.
2. In caso di monitoraggio indiretto (dosimetro esterno al camice o a tiroide), considerare come sia possibile fornire una stima della dose al cristallino più accurata perseguendo un posizionamento omolaterale rispetto all'occhio maggiormente esposto.
3. Tenere conto che l'esposizione del cristallino risente fortemente del tipo di procedura, delle caratteristiche morfologiche del lavoratore e della disposizione degli operatori nel setting clinico. La stima della dose al cristallino a partire dal carico di lavoro, in termini di KAP totale annuo o numero di procedure, è quindi consigliata solo in fase di classificazione del lavoratore e per valutare quali DPI e quali dosimetri assegnare.
4. Scegliere i DPI oculari sapendo che il loro fattore di riduzione della dose è fortemente dipendente dalla forma e dalla posizione assunta dall'operatore. Gli occhiali con montatura schermata totalmente avvolgen-

te sono da preferirsi poiché hanno la migliore efficacia schermante, ed evidenziano minore dipendenza dalla posizione dell'operatore. Questa osservazione è particolarmente rilevante per gli operatori che si trovano in prossimità del paziente durante l'esposizione.

5. Utilizzare le visiere tenendo conto che, a fronte di un fattore di attenuazione nominale minore di altri DPI oculari, la loro efficacia schermante è paragonabile ad alcuni modelli di occhiali anti-X in quanto mostra una bassa dipendenza dal posizionamento assunto dall'operatore. Tenere altresì conto del fatto che le mezze visiere risentono maggiormente di possibili errori di posizionamento rispetto alle visiere integrali, e vanno quindi utilizzate solo in determinati contesti per i quali siano accettabili i limiti fisiologici ad esse correlati.
6. Posizionare correttamente gli schermi pensili per consentire una efficace riduzione dell'esposizione al cristallino dei primi operatori.
7. Perseguire con sistematicità l'impiego di telini anti-X, quando possibile, poiché questo elemento può risultare discriminante per ridurre l'esposizione al cristallino dei primi operatori.
8. Nella valutazione del rischio, considerare che l'impiego combinato di telino e paratia permette di ridurre l'esposizione al cristallino dei primi operatori di circa un fattore paragonabile a quello dei DPI oculari.
9. Scegliere i dispositivi di protezione individuale e collettivi, di competenza dell'esperto di radioprotezione, tenendo conto anche delle caratteristiche ergonomiche, nonché della praticità di impiego in un ambito clinico.
10. Formare e addestrare con sistematicità gli operatori sul corretto uso e posizionamento dei dosimetri, nonché dei DPI/DPC, tenendo in considerazione le modalità di esecuzione delle procedure cliniche.

Figura 3

Esempio della disposizione dei primi operatori e utilizzo dei DPC durante una procedura di neuroradiologia interventistica



(Immagine cortesemente fornita da Simone Busoni - Aou Careggi)

CONCLUSIONI

I risultati dello studio forniscono una serie di elementi utili al fine dell'ottimizzazione della radioprotezione del cristallino degli operatori coinvolti nelle procedure interventistiche, in particolare in relazione a parametri di scenario quali: valori di dose equivalente suscettibili di essere assorbiti dal cristallino, incertezze che tengano in considerazione le modalità di posizionamento del dosimetro, variabilità intra e inter-procedura, l'efficacia operativa dei DPI e DPC.

Dallo studio multicentrico e dalle misure su fantoccio viene confermata la rilevanza dei valori di dose assorbita dal cristallino dei primi operatori e, in determinati casi, anche dell'anestesista, qualora si sia in presenza di

elevati carichi di lavoro o procedure complesse. Risulta quindi necessario applicare un quadro di regole di cautela/indicazioni operative che risulti quanto più possibile chiaro e standardizzato, oltre a perseguire l'implementazione di un approccio radioprotezionistico integrato per la protezione del paziente e per quella dei lavoratori ('Occupational exposure in interventional procedures is closely related to patient exposure, as most actions to reduce patient exposure also contribute to protection of workers; [...] Actions to protect staff should not impair the clinical outcome of the intervention, and should not increase patient exposure. Therefore, occupational protection should be managed in an integrated approach with patient protection'. ICRP publication 139).

RIFERIMENTI NORMATIVI

D.lgs. 101/2020 'Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117.' e s.m.i.

PER ULTERIORI INFORMAZIONI

Contatti: fr.campanella@inail.it

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

ISTISAN 21/1. Indicazioni operative per l'ottimizzazione della radioprotezione nelle procedure di radiologia interventistica alla luce della nuova normativa. Aggiornamento del Rapporto ISTISAN 15/41.

EURADOS Report 2021-1: 13th EURADOS Winter School Eye Lens Dosimetry.

International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. Ann ICRP, 2018. 47(2): p. 1-118.

International Atomic Energy Agency (IAEA), Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. IAEA-TECDOC no 1731. 2013: Vienna.

PAROLE CHIAVE

Dose al cristallino, Radiologia interventistica, Dispositivi di radioprotezione, Indicazioni operative

GRUPPO DI LAVORO

G. Belli (Aou Careggi), M. Betti (Aul Toscana Centro), M. Bruzzi (Unifi), S. Busoni (Aou Careggi), F. Campanella (Inail), A. Ciccarone (Aou Meyer), M.A. D'Avanzo (Inail), S. Di Biaso (Aulss2 Marca Trevigiana), D. D'Urso (Aulss2 Marca Trevigiana), L. Fedeli (Aul Toscana Centro), C. Gasperi (Aul Toscana Sud-Est), S. Giomi (Aou Careggi), L.N. Mazzoni (Aul Toscana Centro), M. Paolucci (Aul Umbria 2), C. Poggiali (Unifi), M. Quattrocchi (Aul Toscana Nord-Ovest), F. Rossi (Aou Careggi), A. Taddeucci (Aou Careggi).