

Valutazione dell'efficacia di una protezione in Bismuto durante esami TC

Paola COLOMBO - Guido PEDROLI - Marisa NICOLOSO
Sara RE* - Luca VALVASSORI** - Angelo VANZULLI***

Scopo. Lo scopo del lavoro è stata la valutazione dell'efficacia di una protezione in bismuto (Attenurad F&L Medical Products, Vandergrift, PA) per la riduzione della dose ad organi superficiali durante esami con Tomografia Computerizzata (TC). La protezione è stata valutata per la riduzione della dose al seno durante esami toracici e per la riduzione della dose al cristallino durante esami cerebrali.

Materiale e metodi. La dose è stata misurata sia su pazienti (10 per il cristallino e 30 per il seno), sia su fantoccio antropomorfo (Alderson Rando). La riduzione della qualità dell'immagine è stata valutata sia qualitativamente da parte di un radiologo esperto sia in termini di aumento di rumore su immagini di fantoccio (Rando).

Risultati. L'uso della protezione permette un risparmio di dose pari al 50% per il cristallino e pari a 34% per il seno. Il dato è confermato sia da misure effettuate su pazienti, sia da misure sul fantoccio antropomorfo. La protezione diminuisce la qualità delle immagini nelle regioni immediatamente sottostanti, ma, nei due casi considerati, tali regioni non sono di interesse diagnostico mentre nelle regioni cerebrali e polmonari, rispettivamente, la qualità è solo lievemente degradata consentendo sempre una corretta valutazione diagnostica. Anche l'analisi numerica ha portato a concludere che un modesto aumento di rumore è statisticamente significativo solo per le porzioni anteriori del polmone. Gli artefatti, talvolta presenti, si presentano al di fuori del campo di interesse clinico anche grazie all'uso di una gommapiuma (di spessore pari a 0,7-1 cm) per la protezione del seno.

Conclusioni. La protezione è risultata efficace sia nel caso del seno che del cristallino consentendo una significativa riduzione della dose, senza inficiare eccessivamente la qualità dell'immagine, anche grazie a particolari accorgimenti (gommapiuma distanziatrice). L'utilizzo della protezione è risultato semplice e non comporta penalizzazioni nella durata dell'esame.

PAROLE CHIAVE: Tomografia Computerizzata - Dose agli organi - Protezione del paziente.

Evaluation of the efficacy of a bismuth shield during CT examinations

Purpose. The purpose of the study was to evaluate the efficacy of a bismuth shield (Attenurad F&L Medical Products, Vandergrift, PA) in reducing the dose to surface organs during Computed Tomography (CT) examinations. The shield was evaluated for reduction of the dose to breast during chest examinations and reduction of the dose to the lens of the eye during brain examinations.

Materials and methods. The dose was measured on patients (10 for the eye and 30 for the breast), and on an anthropomorphic phantom (Alderson Rando). The reduction of image quality was evaluated both qualitatively by an expert radiologist, and in terms of increased noise on the phantom images (Rando).

Results. The use of the protective device reduced the dose by 34% to the breast and 50% to the lens. These figures are confirmed by the measurements taken both on patients and on the anthropomorphic phantom. The protective device reduced image quality in the regions immediately beneath it, but in the cases considered, those regions were of no diagnostic interest, while in the brain and lung regions, the quality is only slightly reduced, always allowing a correct diagnostic evaluation. Numerical analysis also led to the conclusion that a modest increase in noise is only statistically significant for the anterior portions of the lung. When present, the artifacts appeared outside the field of clinical interest. That is mainly due to the use of a foam pad (0.7 - 1 cm thick) to protect the breast.

Discussion and conclusions. The protection proved effective both in the case of breast and of lens, leading to a significant reduction in dose, without excessively affecting image quality. The shield proved easy to use, and did not increase the examination time.

KEY WORDS: Computed Tomography - Breast - Lens - Organ doses - Patient protection.

Introduzione

Il mondo radiologico sta ponendo un'attenzione crescente sulla dose erogata al paziente durante gli esami di Tomografia Computerizzata. Da una parte si è riscontrato un aumento del numero di esami TC, dall'altra il contenuto diagnostico dell'esame è aumentato grazie alla rapidità e alle potenzialità delle apparecchiature di più recente sviluppo: gli esami multifasici dell'addome o le applicazioni car-

Introduction

In diagnostic radiology increasing attention is being paid to the dose of radiation delivered to the patient during Computed Tomography (CT) examinations. On the one hand an increase in the number of CT examinations has taken place, partly due to the extensive use of this technology in Emergency Departments, while on the other, the diagnostic content of the examination has increased due to the speed of

Struttura Complessa di Fisica Sanitaria - Azienda Ospedaliera Niguarda Ca' Granda - Milano - *Scuola di Specializzazione in Fisica Sanitaria - Università degli Studi di Milano - Milano - **Struttura Complessa di Neuroradiologia - Azienda Ospedaliera Niguarda Ca' Granda - Milano - ***Struttura Complessa di Radiodiagnostica - Azienda Ospedaliera Niguarda Ca' Granda.

Pervenuto alla Redazione il 6.2.2004; revisionato il 5.3.2004; restituito corretto il 27.5.2004; accettato per la pubblicazione il 7.6.2004.

Indirizzo per la richiesta di estratti: Dott.ssa P. Colombo - Struttura Complessa di Fisica Sanitaria - Azienda Ospedaliera Niguarda Ca' Granda - Piazza Ospedale Maggiore 3 - 20163 Milano MI - Tel. 02/64443762 - Fax 02/64442904. E-mail: sfsnig@unimi.it



Fig. 1. — Posizionamento della protezione del seno.
Breast shield positioning.



Fig. 2. — Posizionamento della protezione del cristallino.
Eye shield positioning.

diologiche forniscono informazioni impossibili da ottenere con le apparecchiature di vecchia generazione.

Di conseguenza si è verificato un aumento del contributo della TC alla dose collettiva: è stato stimato che solo l'11% degli esami radiologici diagnostici sono effettuati mediante TC, ma ad essi corrisponde una percentuale del 67% della dose totale annuale collettiva [1]. Diverse sono le strategie che si possono perseguire per ridurre la dose al paziente: tra quelle possibili rientra l'uso di adeguate protezioni contro le radiazioni da posizionarsi nelle sezioni esaminate al fine di ridurre la dose ad alcuni organi superficiali particolarmente radiosensibili, senza tuttavia ridurre la qualità diagnostica delle immagini. I dispositivi, trovandosi nelle sezioni esaminate, hanno come finalità l'attenuazione «parziale» del fascio di raggi X, diversamente da quelle in gomma piombifera utilizzate in diagnostica tradizionale dove si persegue un'attenuazione maggiore.

Nel nostro studio abbiamo preso in esame una protezione in bismuto ideata e modellata per ridurre la dose al seno durante gli esami toracici e quella al cristallino durante esami cerebrali. Sono stati valutati il risparmio di dose all'organo e l'effetto sulla qualità immagine mediante misure *in vivo* e in fantoccio.

Materiale e metodi

La protezione è costituita da 4 strati di bismuto e ogni strato ha una densità superficiale pari a 0,85 g di bismuto per cm². Ogni strato risulta equivalente a 0,015 mm di Pb cioè attenua del 14 % a 120 kV (HVL 5,6 mm Al) [2]. Il bismuto viene preferito al piombo per le sue migliori caratteristiche di elasticità e modellabilità e per le sue prestazioni migliori alle alte tensioni come quelle utilizzate per la TC.

La protezione è stata provata nei formati per il seno e per

the latest apparatus; multiphase scans of the abdomen and cardiological applications provide information which would have been impossible to obtain with older-generation apparatus.

The contribution made by CT examinations to the collective dose has therefore increased; it has been estimated that only 11% of diagnostic radiology examinations are CT scans, but they account for 67% of the total annual collective dose [1]. A number of strategies can be pursued to reduce the dose delivered to the patient, including the use of suitable radiation shields positioned in the areas examined to reduce the dose received by some particularly radiosensitive surface organs, without reducing the diagnostic quality of the images. As these devices are placed in the areas examined, they are intended to achieve partial attenuation of the X-ray beam, unlike those made of lead rubber used in traditional diagnostic examinations, which are designed to achieve a greater degree of attenuation.

*In our study we examined a bismuth shield designed and shaped to reduce the breast dose during chest scans and the lens dose during brain scans. We evaluated the organ dose saving and the effect on image quality by taking measurements both *in vivo* and on a phantom.*

Materials and methods

The shield consists of 4 layers of bismuth; each layer has a surface density of 0.85 g of bismuth per cm². Each layer is equivalent to 0.015 mm Pb, i.e. it gives 14% attenuation at 120 kV (HVL 5.6 mm Al) [2]. Bismuth is preferred to lead because of its better characteristics of elasticity and malleability, and its better performance at high voltages like those used for CT scans.

il cristallino. Nel caso del seno la protezione è stata utilizzata sopra ad una gommapiuma di spessore pari a 0,7 cm ed è costituita da due fogli di dimensione 25 cm × 20 cm uniti da nastro tipo Velcro (fig. 1). Questo formato si è dimostrato valido per quasi tutte le pazienti, ma sono disponibili taglie differenti.

La protezione del cristallino (14 cm × 4 cm) è stata utilizzata a diretto contatto del paziente (per motivi igienici nel caso si volesse riutilizzare è opportuno l'uso di un telo protettivo) (fig. 2). Sono state effettuate sia misure di dose superficiale in ingresso (ESD), comprensiva del fattore di retro-diffusione, posizionando direttamente dei dosimetri a TLD sui seni o sulle palpebre dei pazienti, sia, nel caso della dose al seno, misure dirette di dose all'organo, posizionando dei dosimetri a TLD in fantoccio antropomorfo (Alderson Rando).

Nel caso dell'esame toracico è stata stimata inoltre la riduzione della dose efficace dovuta all'uso della protezione su di una paziente standard.

Protezioni del seno

Trenta pazienti di sesso femminile che dovevano eseguire un esame TC che comprendesse una scansione sul torace, sono state selezionate e tre dosimetri a TLD LiF (Mg, Cu, P) tipo GR 200 A opportunamente tarati sono stati posizionati su ognuno dei due seni appena sopra al capezzolo (un punto di misura ogni tre dosimetri). Per una serie di pazienti è stata utilizzata la protezione (15) mentre per un'altra serie non è stata utilizzata (15). I dati sono stati confrontati con test statistico *t* di Student per dati non appaiati.

Gli esami sono stati eseguiti sul tomografo multistrato Somatom Volume Zoom (Siemens AG, Forstheim, Germania) e l'acquisizione sul torace è stata eseguita a 120 kV, 140 mAs, 4×2,5, pitch = 1. In alcuni casi l'esame ha compreso anche alcune acquisizioni sull'addome superiore e inferiore, ma per rendere più omogenei i dati, si è tenuto conto del contributo alla dose delle scansioni dell'addome attraverso misure specifiche.

Un fantoccio antropomorfo (Alderson Rando) dotato di mammella tessuto equivalente è stato sottoposto ad un esame TC uguale a quello normalmente in uso per i pazienti e sono stati posizionati tre dosimetri TLD su ognuno dei due seni in posizione analoga a quella scelta per le pazienti. Inoltre, poiché le mammelle del fantoccio possono essere tolte, sono stati posizionati tre dosimetri sotto ogni mammella sulla parete toracica in posizione corrispondente al capezzolo e tre dosimetri in fori predisposti all'interno della mammella stessa. Le scansioni sul fantoccio, con e senza protezione, sono state ripetute due volte.

Tutte le immagini ottenute con la protezione sono state valutate qualitativamente da un radiologo esperto per indagare sulla presenza di artefatti e l'aumento di rumorosità nei siti di interesse clinico.

Valutazioni quantitative dell'aumento del rumore sono state effettuate sulle immagini ottenute del fantoccio Rando: misure di rumore in quattro aree dei polmoni corrispondenti nelle immagini, ottenute con e senza protezione, sono state confrontate con test statistico *t* di Student per dati appaiati.

Protezioni del cristallino

Le misure sono state effettuate su pazienti che dovevano eseguire un esame TC cerebrale sul Tomografo Aura Philips

The shield was tested in breast and lens formats. In the case of the breast, the shield was used over an 0.7 cm thick foam pad, and consisted of two layers, measuring 25 cm × 20 cm, joined by Velcro tape (Fig. 1). This size proved suitable for almost all patients, but different sizes are also available.

The lens shield (14 cm × 4 cm) was used in direct contact with the patient (however, the use of a protective sheet is advisable for hygiene reasons if the shield has to be reused) (Fig. 2). Entrance surface doses (ESD), including backscatter, were measured by placing TLD dosimeters directly on the breast or the eyelids of the patients. For the breast case, organ dose was also measured by placing TLD dosimeters in a anthropomorphic phantom (Alderson Rando). For thorax examination, the reduction of effective dose due to the shield was evaluated for a standard female patient.

Breast shield

*Thirty female patients due to undergo a CT chest examination were selected, and three suitably calibrated LiF TLD dosimeters (Mg, Cu, P), type GM 200 A, were positioned on each of the two breasts just above the nipple (one measuring point for every three dosimeters). The shield was used for one group of patients (15), and no shield was used for another group (15). The data were compared using Student's *t* test for unpaired data.*

The scans were performed with a Somatom Volume Zoom multislice CT scanner (Siemens AG, Forstheim, Germany), and the chest scans were performed at 120 kV, 140 mAs, 4×2.5, pitch = 1. In some cases the examination also included some scans of the upper and lower abdomen, but to make the data more homogenous, account was taken of the contribution made by the abdomen scans to the dose by means of specific measurements.

A CT scan identical to those normally used for patients was also performed on an anthropomorphic phantom (Alderson Rando) with breast tissue equivalent material; three TLD dosimeters were placed on each of the two breasts in the same position as used for patients. As the phantom had removable breasts, three dosimeters were also placed under each breast on the chest wall in a position corresponding to the nipple, and three dosimeters in the holes provided inside the breast. The scans on the phantom, with and without shield, were repeated twice.

All the images obtained with the shield in position were evaluated qualitatively by an expert radiologist for the presence of artifacts and increased noise at the sites of clinical interest.

*Quantitative evaluations of increased noise were performed on images obtained from the Rando phantom: noise measurements in four corresponding lung areas on images with and without the shield were compared using Student's "*t*" test for paired data.*

Lens shield

The measurements were performed on 10 patients due to undergo a CT brain scan with a Philips Aura CT scanner with scanning parameters of 130 kV and 200 mAs, 5 mm

TABELLA I. — Studio su pazienti: risultati di dose al seno e livello di significatività (test t di Student).

N. pazienti		Dose media (mGy)	DS	Significatività (t di Student)
15	Con protezione	11,89	1,59	p<10 ⁻⁵
15	Senza protezione	17,68	2,42	

TABELLA II. — Studio su pazienti: risultati di dose al cristallino e livello di significatività (test t di Student).

N. pazienti		Dose media (mGy)	DS	Significatività (t di Student)
5	Con protezione	24,27	2,61	p<10 ⁻³
5	Senza protezione	48,60	5,48	

con parametri di scansione 130 kV e 200 mAs, 5 mm (fossa cranica) e 130 kV e 180 mAs, 7 mm (sovratentoriale).

Sui pazienti sono stati posizionati tre dosimetri a TLD su ognuno dei due occhi, sopra alla palpebra. Per una serie di pazienti è stata utilizzata la protezione mentre per un'altra serie non è stata utilizzata. In totale sono stati campionati 10 esami di cui 5 hanno contribuito alla misura della dose all'occhio con la protezione e 5 senza. I dati sono stati confrontati con test t di Student per dati non appaiati.

Lo stesso fantoccio antropomorfo (Rando) è stato sottoposto ad un esame TC uguale a quello normalmente in uso per i pazienti. Sul fantoccio sono stati posizionati tre dosimetri TLD su ognuno dei due occhi in posizione analoga a quella scelta per i pazienti, con e senza protezione.

Tutte le immagini ottenute con la protezione sono state valutate qualitativamente da un radiologo esperto per indagare sulla presenza di artefatti e l'aumento di rumorosità nei siti di interesse clinico. Misure di rumore sono state eseguite sulle immagini acquisite con il fantoccio in due diverse sezioni (nel cervelletto in cui era visibile la protezione e in una sezione sovratentoriale appena sopra alla protezione) e sono state confrontate con test statistico t di Student per dati appaiati.

Risultati

Protezione per il seno

Con la protezione, la dose superficiale in ingresso (ESD) misurata sulle pazienti risulta ridotta del 34% rispetto alla dose senza protezione (da 11,9 mGy con protezione a 17,7 mGy senza protezione per esami a 120 kV e 140 mAs) (p<10⁻⁵) (tab. I). Sul fantoccio si è ottenuto un risultato analogo per quanto riguarda sia la dose superficiale, sia la dose media alla mammella. Si può pertanto concludere che l'uso della protezione comporta una riduzione della dose al seno dell'ordine del 34%. Tale riduzione, tenendo conto che il contributo alla dose efficace della dose al seno è pari a circa il 15%, comporta, per un esame toracico standard su di una paziente normotipo, una riduzione della dose efficace di circa il 5%.

L'utilizzo del dispositivo di protezione ha consentito sempre una corretta valutazione diagnostica delle aree di interesse,

TABLE I.—Patient study: breast dose results and significance level (t Student test).

N. patients		Mean dose (mGy)	SD	p value (t Student)
15	With shield	11,89	1,59	p<10 ⁻⁵
15	Without shield	17,68	2,42	

TABELLA II.—Patient study: eye dose results and significance level ("t" Student test).

N. patients		Mean dose (mGy)	SD	p value (t Student)
5	With shield	24,27	2,61	p<10 ⁻³
5	Without shield	48,60	5,48	

(cranial fossa) and 130 kV and 180 mAs, 7mm (supratentorial).

Three TLD dosimeters were positioned on each of the patient's eyes, above the eyelid. The shield was used for one group of patients (5), while no shield was used for the other group (5). The measured doses for the two groups were compared by means of Student's t test.

A CT scan identical to those normally used for patients was performed on the anthropomorphic phantom (Rando). Three TLD dosimeters were positioned on each eye in the same position as for patients, with and without the shield.

All the images obtained with the shield in position were evaluated qualitatively by an expert radiologist for the presence of artifacts and increased noise at the sites of clinical interest. Noise measurements were performed on the scans of the phantom in two different sections (in the cerebellum, in which the shield was visible, and in a supratentorial section just above the shield), and data obtained with and without shield were compared using Student's "t" test for paired data. Entrance surface doses (ESD), including backscatter, were measured by placing TLD dosimeters directly by placing TLD dosimeters in a anthropomorphic phantom (Alderson Rando). For thorax examination, the reduction of affective dose to the shield was evaluated for a standard female patient.

Results

Breast shield

Entrance surface dose (ESD) measured on patients with the shield in position was 34% lower than that measured without the shield (from 17.7 mGy to 11.9 mGy for scans at 120 kV and 140 mAs) (p<10⁻⁵) (table I). A similar result was obtained in the case of the phantom both for the entrance surface dose, and for the mean breast dose. Therefore it can be established that the use of shield reduces the breast dose of about 34%. For the thorax examination, taking into account that the contribution of the breast dose to the effective dose is 15%, the shield reduces the effective dose to a standard patient of about the 5%.

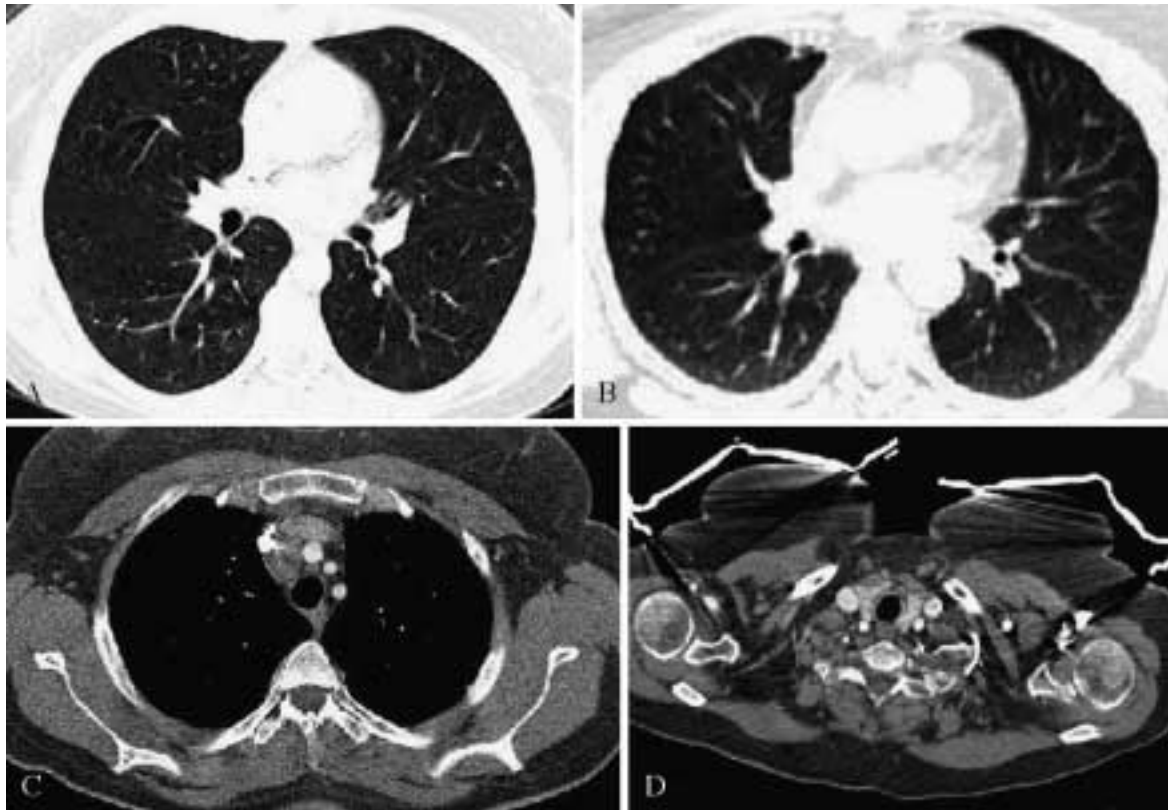


Fig. 3. — Due esempi di utilizzo della protezione per il seno con spugna distanziatrice (A, C) e senza (B, D); gli strati sono visualizzati sia con la finestra per il parenchima (A, B) che con la finestra per i tessuti molli (C, D); le acquisizioni (B, D) ottenute senza spugna dimostrano la presenza di vistosi artefatti evidenti con entrambe le finestre di visualizzazione.

Two examples of breast shield with foam pad (A, C) and without (B, D); the slices are presented using both parenchyma window (A, B) and soft tissue window (C, D). The scans (B, D) obtained without foam pad demonstrated the presence of relevant artifacts evident with both the visualization windows.

senza alcuna degradazione delle immagini per quanto concerne i campi polmonari e il mediastino. Si è osservata una minima e accettabile degradazione della rappresentazione delle strutture della parete anteriore, quasi mai oggetto dello studio TC.

Il posizionamento della protezione sopra una gommapiuma di spessore pari a circa 1 cm ha reso più consistente e rigida la protezione: questo ha consentito di ridurre gli artefatti dovuti alle pieghe che si formavano. Alcune prove preliminari effettuate senza l'uso della gommapiuma avevano dimostrato la presenza di fastidiosi artefatti, che pur non inficiando la diagnosi a livello polmonare, potevano rendere difficili da interpretare alcuni punti della parete toracica. Con questo accorgimento invece gli artefatti, se presenti, non si propagano nei tessuti toracici, ma rimangono esterni al corpo (fig. 3).

Le valutazioni quantitative hanno mostrato una differenza del rumore pari a 2,2 n.TC: la differenza è statisticamente significativa ($p < 0,022$) per le porzioni anteriori del polmone, mentre per le porzioni posteriori la differenza, pari a 0,7 n.TC non è risultata significativa ($p < 0,06$). L'aumento di rumore è tuttavia modesto rispetto al rumore di base (valore medio: 11 n.TC, aumento: 2,2 n.TC).

The use of the shield always allowed correct diagnostic evaluation of the areas of interest, without any deterioration in the images as regards the pulmonary fields or the mediastinum. Minimal, acceptable deterioration in the representation of the front wall structures was observed, but these structures rarely are of any interest in CT examinations.

Positioning the shield over a foam pad with a thickness of approx. 1 cm made the shield more rigid; this reduced artifacts caused by fold formation. Some preliminary tests performed without the foam pad demonstrated the presence of annoying artifacts, which did not affect the diagnosis at pulmonary level, but sometimes made it difficult to interpret some structures on the chest wall. However, when the foam pad was used, the artifacts, if present, were not propagated to the chest tissues, but remained outside the body (Fig. 3).

The quantitative evaluations showed a difference in noise of 2.2 CT number: the difference is statistically significant ($p < 0.022$) for the anterior portions of the lung, but not for the posterior portions (0.7 CT number) ($p < 0.06$). Anyhow, the noise increase is modest compared with the noise of the surrounding area (noise mean value: 11 CT number, noise increase: 2.2 CT number).

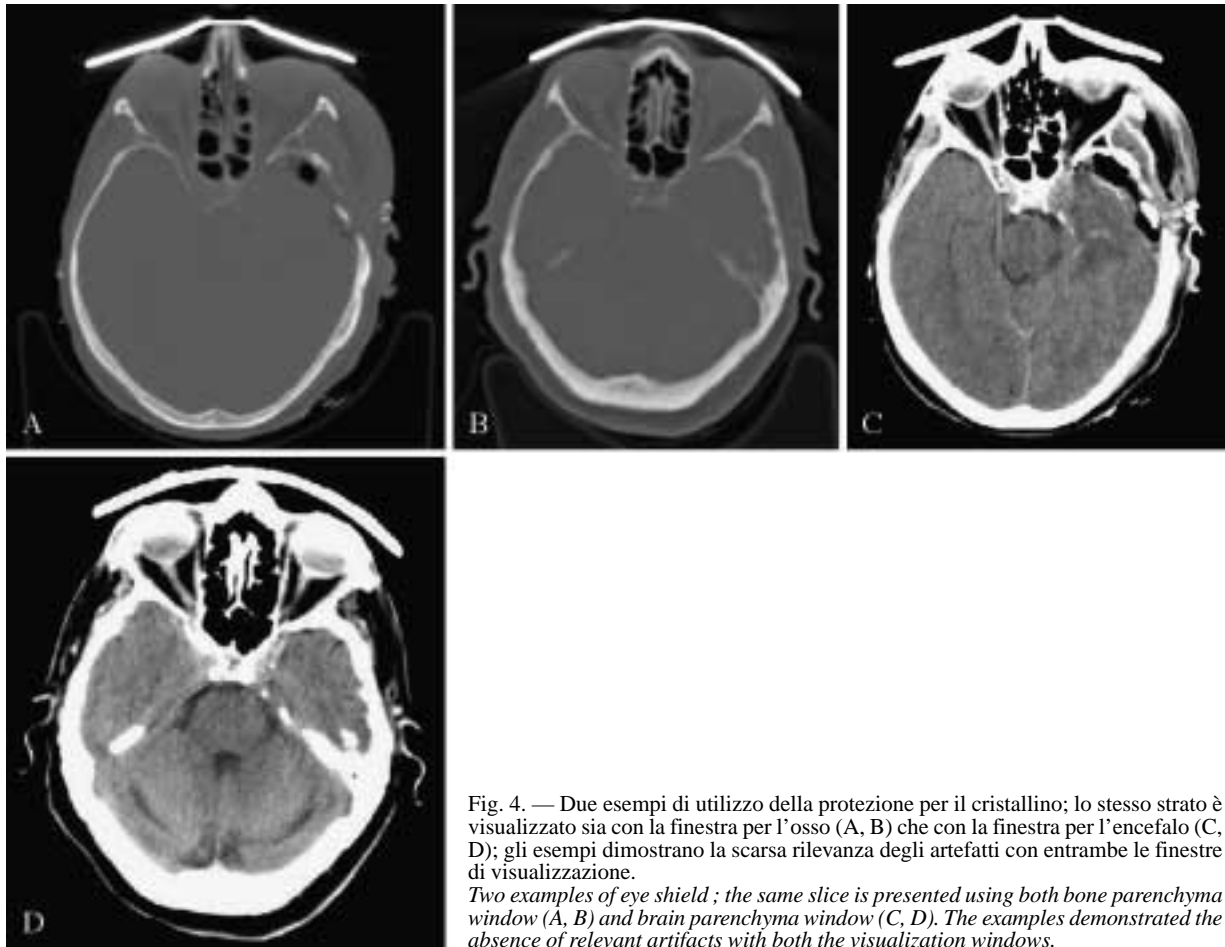


Fig. 4. — Due esempi di utilizzo della protezione per il cristallino; lo stesso strato è visualizzato sia con la finestra per l'osso (A, B) che con la finestra per l'encefalo (C, D); gli esempi dimostrano la scarsa rilevanza degli artefatti con entrambe le finestre di visualizzazione.
Two examples of eye shield ; the same slice is presented using both bone parenchyma window (A, B) and brain parenchyma window (C, D). The examples demonstrated the absence of relevant artifacts with both the visualization windows.

Protezione per il cristallino

Le misure di dose superficiale in corrispondenza dell'occhio dei pazienti hanno mostrato una riduzione della dose, pari al 50% (da 24,3 mGy a 12,15 mGy per esami della fossa cranica a 130 kV e 200 mAs, 5 mm) ($p < 10^{-3}$) (tab. II).

Le misure sul fantoccio hanno confermato il dato ottenuto sui pazienti (riduzione del 47%).

Le immagini sono state valutate sia con finestra per parenchima cerebrale che con finestra per osso. Si può pertanto concludere che la riduzione della dose al cristallino, che può essere ovviamente ricavata direttamente da quella relativa alla dose superficiale, è pari a circa il 50%.

In nessun caso si è registrata una perdita di informazioni o un calo del potere diagnostico dell'esame nella valutazione del parenchima encefalico. Si è osservato invece la presenza di artefatti subito al di sotto del dispositivo, per una profondità di circa 1-2 cm, ed un poco anche lateralmente ad esso, che riduce le capacità diagnostiche, ma limitatamente alle finestre di visualizzazione più strette (parenchima cerebrale o parti molli dell'orbita). Con le finestre per osso invece i dettagli rimangono ben visibili.

Il posizionamento della protezione per esami cerebrali è risultato semplice in quanto la protezione è piccola e non presenta possibilità di fare pieghe (fig. 4).

Lens protection

The ESD measurements made on the eyes of the patients showed a reduction, due to the shield, of about 50% (from 24.3 mGy to 12.15 mGy for cranial fossa scans at 130 kV and 200 mAs, 5 mm) ($p < 10^{-3}$) (table II).

The measurements taken on the phantom confirmed those obtained on the patients (47% reduction). According to these results, the reduction due to the shield of the dose to lens, that can be directly estimated from surface dose measurements, is of about 50%.

The images were evaluated both with a brain parenchyma window and a bone window.

No loss of information or reduction in the diagnostic power of the examination for evaluation of the brain parenchyma was recorded in any case. Artifacts were observed immediately below the shield, to a depth of approx. 1-2 cm, and also slightly aside it. That reduces diagnostic capacity, but it is limited to the case of narrower display windows (brain parenchyma and soft parts of the orbit). However, with the bone windows, all the details remain clearly visible.

The positioning of the shield for brain scans proved simple because the shield is small and does not give rise to folds (Fig. 4).

Le misure di rumore sugli strati cerebrali del fantoccio non hanno dimostrato un aumento significativo del rumore sia negli strati del cervelletto (differenza pari a 0,9 n.TC rispetto ad un valore medio di 3,95) ($p < 0,08$) sia negli strati sovratentoriali dove è risultata inferiore (differenza pari a 0,4) ($p < 0,11$).

Discussione

Nel mondo radioprotezionistico c'è un'accesa discussione relativa agli effetti delle basse dosi (0,005-0,2 Gy), quelle tipiche delle indagini diagnostiche. Uno studio recente [3] sugli effetti provocati sui sopravvissuti alla bomba atomica sembra confermare una evidenza statistica di rischio di carcinogenesi nell'intervallo di dose 0-0,1 Sv e la validità del modello lineare senza soglia per esposizione acuta a basse dosi, con un limite di confidenza superiore per un possibile valore soglia, pari a 0,06 Sv. Inoltre recenti lavori retrospettivi hanno dimostrato un aumento di incidenza di tumore al seno per l'esposizione dovuta ad esami radiologici [4, 5] e che il rischio di carcinogenesi aumenta al diminuire dell'età dell'esposizione: si è stimato che ad una dose alla mammella pari a 10 mGy corrisponde un aumento di rischio del 13,6% per una donna di età inferiore a 35 anni e del 2% per età superiore [4-6].

L'esame TC è un'indagine radiologica ad alta dose: le dosi agli organi possono variare da 10 mGy a 100 mGy mentre le dosi efficaci variano da qualche mSv a 30 mSv. Con esami tradizionali solo in pochi casi si arriva a dosi agli organi di qualche decina di mGy. La preoccupazione crescente sugli effetti di queste dosi è inoltre giustificata dall'aumento registrato negli ultimi anni negli esami TC (4% in GB nel 1998; 11% nel 2000) [1], con un conseguente aumento della dose collettiva.

Queste considerazioni giustificano lo sforzo di ridurre la dose, senza influenzare l'efficacia diagnostica. Le strategie sono perseguibili sia da parte del radiologo mediante la scelta di protocolli a bassa dose con algoritmi di riduzione del rumore in quei distretti dove sia presente un ampio contrasto naturale (LDCT per polmone, mediastino e scheletro) [7], sia da parte dei produttori di apparecchiature mediante l'implementazione di sistemi di modulazione della corrente (per esempio il pacchetto «CareDose» o «Smart Scan») o di controllo automatico dell'esposizione (AEC) [8].

Un altro metodo che si può scegliere è quello di ridurre la dose ad organi superficiali radiosensibili che non siano oggetto dell'esame TC. La possibilità di ottenere questo risparmio è legata al funzionamento dei sistemi TC: un punto qualsiasi dell'immagine viene ricostruito con il contributo di tutti i fasci passanti per quel punto e provenienti da tutte le angolazioni. Lo stesso vale per la dose, ma il contributo principale per gli organi superficiali è quello dovuto ai fasci provenienti anteriormente: una protezione che attenui parzialmente questo contributo permette di ridurre la dose ai tessuti immediatamente sotto alla protezione senza tuttavia impedire la formazione dell'immagine. È chiaro tuttavia che in queste zone la qualità dell'immagine risulterà ridotta perché meno radiazione si traduce in un minor numero di informazioni con un deterioramento che si propaga anche nei tessuti sottostanti.

La specificità dell'acquisizione TC ha quindi reso necessario misurare il fattore di attenuazione nella esatta geometria

The measurements on the brain slices of the phantom did not show a significant increase in noise, either in the cerebellum slices (a difference of 0.9 CT number compared to a mean value of 3.95) ($p < 0.08$) or in the supratentorial slices (a difference of 0.4 CT number) ($p < 0.11$).

Discussion

In radiation protection there is great controversy about the effects of low radiation doses (0.005-0.2 Gy), i.e. those typical of diagnostic investigations. A recent study [3] of the radiation effects on the atomic bomb survivors seems to confirm a statistical finding of a risk of carcinogenesis in the dose range 0 - 0.1 Sv, and the validity of the linear no-threshold model for acute exposure to low doses, with an upper confidence limit for a possible threshold value of 0.06 Sv. Moreover, recent retrospective studies have demonstrated an increase in the incidence of breast tumours due to exposure to radiological examinations [4, 5], and that the lower the age of exposure, the greater the risk of carcinogenesis: it is estimated that a breast dose of 10 mGy corresponds to an increased risk of 13.6% for a woman aged under 35, and 2% for an older woman [4, 5, 6].

The CT scan is a high-dose radiological examination: the organ doses range between 10 mGy and 100 mGy, whereas the effective doses range from a few mSv to 30 mSv. With traditional examinations, where organ doses of a few tens of mGy are only reached in a few cases. The increasing concern with the effects of these doses is also justified by the increase in CT examinations in recent years (4% in GB in 1998; 11% in 2000) [1], with a consequent increase in collective dose.

These factors explain the effort made to reduce the dose without affecting diagnostic efficacy. The feasible strategies can be applied both by the examiner by choosing low dose protocols with noise reduction algorithms in those anatomic areas where there is a large natural contrast (LDCT for lungs, mediastinum and skeleton) [7], and by the manufacturers by the implementation of systems of tube-current modulation (e.g. "CareDose" or "Smart Scan" packages) or automatic exposure controls (AEC) [8].

Another method that one can choose is to reduce the dose delivered to radiosensitive surface organs that do not form the target of the CT examination. The possibility of achieving this saving depends on the image reconstruction modality of CT systems: a given point of the image is reconstructed with the contributions of all beams passing through that point, originating from all angles. The same applies to the dose, but the main contribution for the surface organs is due to beams with a frontal origin: a shield which partly attenuates this contribution reduces the dose delivered to the tissues immediately under the shield without preventing image formation. However, the quality of the image will obviously be reduced in those areas, because less radiation means less information, and this deterioration is also propagated to the underlying tissues.

The specificity of the CT scan makes it necessary to measure the attenuation factor in the exact geometry of use, and therefore experimental measurements on patients

tria di utilizzo, ricorrendo quindi a misure su pazienti o fantocci antropomorfi. È questa anche la causa della diversa attenuazione misurata per i due dispositivi (seno e occhi).

Il posizionamento della protezione del seno sopra uno strato di gommapiuma di spessore pari a circa 1 cm ha reso più consistente e rigida la protezione ed è risultato valido per tre motivi:

- 1) facilitare il posizionamento (fig. 3);
- 2) ridurre gli artefatti (diminuiscono le pieghe della protezione che sono all'origine degli artefatti);
- 3) diminuire il contributo di dose alla cute dovuto alla radiazione secondaria prodotta dal materiale della protezione.

In base all'osservazione di artefatti sotto la protezione le uniche controindicazioni al suo uso durante esami cerebrali potrebbero essere rappresentate dagli studi mirati alle orbite e alle cavità nasali e paranasali, quando siano richieste finestre di visualizzazione strette.

La differenza tra i valori misurati in questo studio e quelli di studi precedenti è giustificata dalle diverse caratteristiche della protezione: nel caso dello studio di Fricke *et al.* [10] relativo al seno (attenuazione 29% verso 34%) la protezione utilizza due strati invece di quattro; i valori di attenuazione inoltre differiscono presumibilmente anche per la diversa geometria di scansione poiché le pazienti studiate nello studio di Fricke sono molto giovani (età media 9 anni).

Gli studi di Hopper *et al.* [2, 9] portano a concludere che la protezione attenua la dose al seno di un fattore pari a 22,8% per 1 strato e a - 50,6% per i 4 strati, mentre per l'occhio si ottiene un'attenuazione del 40% circa.

Verificata l'efficacia e la semplicità d'uso è possibile fare qualche riflessione sulla giustificazione all'uso per le due protezioni esaminate.

Abbiamo riscontrato che un esame TC semplice sul torace comporta una dose alla mammella dell'ordine dei 15-25 mGy confrontato con la mammografia o la radiografia del torace che comporta una dose di 3 mGy o 0,2 mGy (15% o 1% di tale valore). Nel caso dell'esame TC multifasico dell'addome e del torace (più scansioni sulla stessa regione corporea o su regioni adiacenti) la mammella o una sua parte può assorbire una dose di 45-95 mGy (a seconda del tipo d'esame e della forma della mammella), corrispondente a 20-30 mammografie.

L'utilizzo della protezione consente un risparmio di dose al seno pari al 34%. Nonostante che la riduzione di dose efficace corrispondente non sia elevata (5%), si deve tenere conto che la dose efficace è espressiva di un rischio globale per l'individuo (induzione di neoplasia), mentre la dose sull'organo si riferisce ad uno specifico rischio di patologia (induzione di tumore al seno). Questa riduzione assume particolare importanza radioprotezionistica per il fatto che il seno continua ad essere esposto a radiazioni nel corso della vita dell'individuo a causa dell'esecuzione ripetuta di esami mammografici a scopo preventivo.

L'uso della protezione sembra giustificato soprattutto nel caso di pazienti giovani, tenuto conto dell'aumento di rischio di carcinogenesi dovuto all'età. Difficile è estrapolare dati certi sul rischio associato all'esposizione per età maggiori e condizioni di esposizione differenti, dove tuttavia il rischio sembra inferiore; tenuto conto delle scarse controindicazioni che si sono presentate nell'uso della protezione è comunque da incoraggiare un uso più esteso della protezione stessa.

Un esame cerebrale semplice in cui non si sia escluso il cri-

and on an anthropomorphic phantom were made for the two shields. This is also the reason for the different attenuation values measured for the two different shields (breast and eyes).

The positioning of the breast shield over a foam pad approx. 1 cm thick made the shield more rigid, and consequently proved useful for three reasons:

- it facilitates positioning (Fig. 3);*
- it reduces artifacts (by reducing the folds that cause them);*
- it reduces the dose contribution to the skin by secondary radiation produced by the shield material.*

On the basis of observation of artifacts under the shield, the only contraindications to its use during brain scans could be represented by scans directed at the orbits and the nasal and paranasal cavities, when narrow display windows are required.

*The difference between the values measured in this study and those of earlier studies is explained by the different characteristics of the shield: in the study of Fricke *et al.* [10] relating to the breast (29% attenuation vs 34%), the shield had two layers instead of four; the attenuation values also presumably differ because of the different scanning geometry, as the patients studied in Fricke's study were very young (mean age: 9 years).*

*The studies by Hopper *et al.* [2, 9] lead to the conclusion that the shield attenuates the breast dose by a factor of 22.8% for 1 layer to 50.6% for 4 layers, whereas for the eye, the attenuation is approx. 40%.*

The efficacy and simplicity of use having been established, some comments can be made about the rationale for use of the two shields examined.

We found that a simple CT chest scan involves a breast dose of around 15-25 mGy, whereas a mammogram or chest radiogram involves a breast dose of 3 mGy or 0.2 mGy (15% or 1% of the former value). In the case of the multiphase abdomen and chest CT examinations (multiple scans in the same or adjacent regions of the body), the breast, or part of it, can absorb a dose of 45-95 mGy (depending on the examination type and on the breast characteristics), corresponding to 20-30 mammograms.

The use of the shield allows a reduction of the breast of about 34%. Although the reduction of the effective dose is not relevant (5%) one must consider that effective dose is expressive of a global risk (tumor indication) while organ dose is related to a specific pathology risk (breast tumor indication). This reduction takes particular relevance for the fact that the breast is continuously exposed to radiation during women's life due to breast cancer screening purposes.

The use of the shield seems to be highly justified in the case of young female patients for whom the age-related risk of carcinogenesis is higher. It is difficult to extrapolate definite data relating to the exposure risk for higher ages and different exposure conditions, but the risk seems to be lower in such cases; bearing in mind the very few contraindications involved, more extensive use of the shield should therefore be encouraged.

A simple brain scan, in which the lens is not excluded from the irradiated tissues by suitably tilting the scanning

stallino dalle scansioni inclinando opportunamente il piano delle scansioni comporta una dose all'organo che varia da 22 a 100 mGy [9, 11]. Benché la dose all'organo sia più alta rispetto a quella stimata per il seno, l'effetto associato all'esposizione è prevalentemente di tipo deterministico, cioè l'opacizzazione del cristallino. Si stima un aumento da 1 a 5% della probabilità di insorgenza dell'effetto per un'esposizione pari a 2-10 Gy per un adulto (esposizione singola) [12] mentre per i bambini la radiosensibilità risulta maggiore con gli stessi effetti indotti da minor dose. Si può quindi ipotizzare che la ripetizione di diverse decine di esami cerebrali potrebbe indurre tale rischio soprattutto nel caso dei bambini. Inoltre soggetti con lunga aspettativa di vita (bambini) hanno il rischio di sottoporsi alla ripetizione di esami cerebrali nell'arco della vita.

Queste due considerazioni portano a giustificare l'uso di tale protezione su pazienti giovani, o chi debba ripetere molte volte l'esame, chi abbia preesistenti problemi al cristallino (cataratta).

Conclusioni

La protezione è risultata efficace sia nel caso del seno che del cristallino consentendo una significativa riduzione della dose all'organo senza inficiare eccessivamente la qualità dell'immagine, anche grazie a particolari accorgimenti. L'utilizzo della protezione è risultato semplice e non comporta penalizzazioni nella durata dell'esame.

Bibliografia/References

- 1) Mettler FA Jr, Wiest PW, Locken JA *et al.*: CT scanning: patterns of and dose. *J Radiol Prot* 20: 353-359, 2000.
- 2) Hopper KD, King SH, Lobell ME *et al.*: The breast: in-plane X-ray protection during diagnostic thoracic CT- shielding with bismuth radioprotective garments. *Radiology* 2505: 853-858, 1997.
- 3) Pierce DA, Preston DL: Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res* 154: 178-86, 2000.
- 4) Hoffman DA *et al.*: Breast cancer in women with scoliosis exposed to multiple diagnostic x-rays. *J Natl Cancer Inst* 81:1307-1312, 1989.
- 5) Doody MM, Lonstein JE *et al.*: Breast cancer mortality after diagnostic radiography. *Spine* 25: 2052-2063, 2000.
- 6) Land CE *et al.*: Early-onset breast cancer in A-bomb survivors. *Lancet* 342: 237, 1993.
- 7) Galanski M, Hidajat N *et al.*: Radiation Exposure in Computed Tomography. HD Nagel, Frankfurt, 2000.
- 8) Kalender WA: Computed Tomography. MCD Verlag, Munich, 2000.
- 9) Hopper KD, Neuman JD *et al.*: Radiation protection to the Eye during CT scanning. *Am J Neuroradiol* 22: 1194-1198; 2001.
- 10) Fricke BL, Donnelly LF *et al.*: In plane Bismuth breast shields for pediatric CT: effects on radiation dose and image quality using experimental and clinical data. *AJR* 180: 407-411, 2003.
- 11) MacLennan AC, Hadley DM: Radiation dose to the lens from computed tomography in a neuroradiology department. *Br J Radiol* 68: 19-22, 1995.
- 12) International Commission on Radiological Protection: Publication n. 41 "Nonstochastic Effects of Ionising Radiation". *Annals of the ICRP*, Volume 14 No. 3, Pergamon Press, Oxford, 1984

*Dott.ssa P. Colombo
Struttura Complessa di Fisica Sanitaria
Azienda Ospedaliera Niguarda
Ca' Granda
Piazza Ospedale Maggiore, 3
20162 Milano MI
Tel. 02/64443762
Fax 02/64442904
E-mail: sfsnig@unimi.it*

plane, involves an organ dose of between 22 and 100 mGy [9, 11]. Although the organ dose is higher than that estimated for the breast, the biological effect associated with exposure is mainly deterministic, namely lens opacification. The probability of onset of this effect is estimated to increase by 1 to 5% for exposure of 2-10 Gy in the case of an adult (single exposure), [12] whereas for children, radiosensitivity is greater, and the same effects are caused by a lower dose. It can therefore be assumed that the repetition of dozens of brain scans may generate this risk, especially in the case of children. Moreover, patients with a long life expectancy (children) may repeat many brain examinations during their life.

Thus it can be recommended the use of such a shield on young patients, on those patients who have to repeat the examination frequently, and those with existing lens problems (cataract).

Conclusions

The protection proved effective in the case of both the breast and the lens, leading to a significant reduction in dose, without excessively affecting the quality of the image. The shield proved easy to use, and did not increase the examination time.