

La Radiologia Medica - Radiol Med 108: 283-291, 2004
Edizioni Minerva Medica - Torino

Valutazione della dose in uretrocistografie minzionali eseguite su pazienti in età pediatrica ed ottimizzazione dell'esame

Andrea MANTOVANI* - Elio GIROLETTI**

Scopo. Obiettivo del lavoro è stato quello di valutare la dose ricevuta dai piccoli pazienti sottoposti ad uretrocistografia minzionale e successivamente di ottimizzare le procedure di esecuzione dell'esame, che risulta essere particolarmente significativo dal punto di vista della dose di radiazione. Nel contempo si è deciso di valutare anche la dose ricevuta dai genitori, che frequentemente assistono il bambino durante l'esame stesso.

Materiale e metodi. Lo studio è stato condotto su 220 bambini sottoposti ad uretrocistografia minzionale, misurando in vivo la dose superficiale entrante ed uscente dal paziente con dosimetri a termoluminescenza e il KAP, prodotto kerma per area. Da quest'ultima grandezza sono state successivamente calcolate l'energia impartita e la dose media assorbita al corpo intero.

Risultati. La dose assorbita dai pazienti è stata mediamente pari a $0,69 \pm 0,54$ mGy, con un intervallo di variabilità di 0,126-3,110 mGy. Si è avuta una notevole dispersione dei valori di dose assorbita, anche per soggetti di dimensioni simili; ciò indica che la radioprotezione del paziente in età pediatrica consente ancora ampi margini di ottimizzazione. Si è potuto verificare infatti che la dose dipende, oltre che dalle dimensioni del bambino, anche dal suo grado di collaborazione e dalla tecnica dell'operatore che esegue l'esame. Quest'ultimo aspetto è stato valutato attraverso il confronto tra le dosi impartite da due diversi operatori, che sono risultate diverse di un fattore 5. L'applicazione di una filtrazione aggiuntiva di 2 mm alluminio, (totale 5 mm Al), ha consentito una riduzione della dose senza significative variazioni della qualità dell'immagine. La dose efficace ricevuta dagli accompagnatori presenti durante l'esecuzione dell'esame, è risultata pari a 4 ± 7 μ Sv.

Conclusioni. La caratteristica specifica degli esami di uretrocistografia minzionale su pazienti in età pediatrica è non solo la dose, spesso non trascurabile, ma anche la notevole dispersione dei suoi valori, anche all'interno della stessa fascia di età. Il medico specialista, ha un compito importante nella giustificazione dell'esame: l'adozione di uno specifico protocollo ha permesso di ridurre il numero di bambini sottoposti ad indagine radiologica.

L'ottimizzazione dell'esame richiede in primo luogo controlli di qualità sulle apparecchiature radiogene, l'adozione di procedure di buona tecnica radiografica e la predisposizione di ambienti idonei per i bambini. Il lavoro ha contribuito alla sensibilizzazione degli operatori sanitari al problema della radioprotezione e della riduzione della dose impartita. La dose efficace ricevuta dagli accompagnatori mostra che la loro presenza, purché essi adeguatamente protetti, si può ritenere giustificata.

PAROLE CHIAVE: Radioprotezione - Uretrocistografia minzionale - Radiologia pediatrica.

Evaluation of the dose to paediatric patients undergoing micturating cystourethrography examination and optimization of the examination

Purpose. The aim of our work was to estimate the dose to paediatric patients undergoing micturating cystourethrography (MCU), and to optimize those examination procedures that were found to be particularly significant from the point of view of the radiation dose. At the same time it was also decided to evaluate the absorbed dose to the parents, who frequently assist the child during MCU.

Materials and methods. The study was carried out on 220 children undergoing micturating cystourethrography, by measuring in vivo the dose equivalent entering and exiting from the patient with thermoluminescent dosimetry and the KAP (Kerma Area Product). From the latter, the imparted energy and the average absorbed dose to the patients were subsequently calculated.

Results. The average absorbed dose was 0.69 ± 0.54 mGy, with a variation interval of 0.126–3.110 mGy. A remarkable dispersion of the absorbed dose values was observed, also for subjects of similar size. This indicates that radiation protection of paediatric patients still allows for wide margins of optimization. In fact it was possible to verify that the dose depends not only on the size of the child, but also on his/her degree of cooperation, and on the technical ability of the operator. The latter aspect was estimated by comparing the doses delivered by two different physicians; differences by a factor of 5 were observed. The application of additional filtration of 2 mm of Al (total 5 mm Al) concurred to a dose reduction without significant variations in image quality. The effective dose received by the parents present during the examination was 4 ± 7 μ Sv.

Conclusions. A specific feature of paediatric MCU is not only the amount of radiation dose, often not negligible, but also the remarkable variation of the dose values, even within the same age group. The specialist has an important role in the justification of the examination: the adoption of a specific protocol has allowed reduction of the number of children undergoing MCU. Optimization of the examination requires quality control on the equipment, as well as the adoption of good radiographic techniques and the provision of suitable environments for children. The present study has helped to focus the attention of practitioners on radiation protection and, consequently, to reduce the dose delivered to the children. The effective dose received by the parents showed that their presence can be justified provided that they are adequately protected.

KEY WORDS: Radiation protection - Micturating cystourethrography - Paediatric radiology.

*Servizio Fisica Sanitaria - Azienda Ospedaliera della Valtellina e Valchiavenna - Sondrio - **Dipartimento Fisica Nucleare e Teorica - Università degli Studi di Pavia Pavia.

Pervenuto alla Redazione il 7.7.2003; revisionato il 3.11.2003; restituito corretto il 19.1.2003; accettato per la pubblicazione il 26.1.2003.

Indirizzo per la richiesta di estratti: E. Giroletti - Università di Pavia - Dipartimento Fisica Nucleare e Teorica - Via Bassi, 6 - 27100 Pavia PV - Tel. 0382/507905 - E-mail: elio.giroletti@unipv.it

Introduzione

L'obiettivo del presente lavoro è stata l'ottimizzazione dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti per pazienti in età pediatrica sottoposti ad uretrocistografia minzionale (UCM) presso un'Azienda Sanitaria milanese.

Per i soggetti in età pediatrica il rischio radiologico è più elevato rispetto al resto della popolazione a causa della maggiore aspettanza di vita e della maggiore radiosensibilità dei loro organi [1-3]. Inoltre i bambini sono spesso non collaboranti ai fini dell'esecuzione dell'esame, in una misura che dipende dal carattere del soggetto, dalla sua età e dalle condizioni dell'ambiente in cui avviene l'esame radiografico [2]. Questi aspetti rendono spesso più difficoltosa e prolungata l'esecuzione dell'esame causando la somministrazione di dosi superiori a quelle strettamente necessarie. In molti casi è anche necessario che un genitore rimanga accanto al bambino durante l'esame: se ciò da un lato può tranquillizzare il paziente evitando così anche l'uso di strumenti di contenzione, dall'altro comporta l'esposizione anche del genitore alla radiazione diffusa e quindi un ulteriore fattore di rischio da considerare.

Le ragioni viste sopra spingono quindi verso la definizione, per quanto riguarda le procedure di esecuzione e di ottimizzazione, di criteri specifici che riflettano le esigenze e le condizioni particolari della radiodiagnostica pediatrica.

Materiale e metodi

Nell'arco di circa tre anni sono state effettuate rilevazioni dosimetriche su 220 bambini di età compresa tra 1 mese e 18 anni sottoposti ad UCM, di cui 68 maschi (31%) e 152 femmine (69%).

L'indicazione prevalente all'esecuzione di questo esame era costituita da infezioni alle vie urinarie, spesso associate ad anomalie anatomiche quali un reflusso vescico-ureterale; nel nostro caso il 73% dei pazienti si era presentato all'esame con una IVU (infezione alle vie urinarie), il 17% per il controllo di un reflusso precedentemente diagnosticato ed il 9% con altre patologie. Tra i pazienti sottoposti ad UCM è stato diagnosticato un reflusso vescico-ureterale nel 20% dei casi.

L'apparecchiatura radiodiagnostica utilizzata era costituita da un generatore *Siemens Garantix 1000* (3 fasi 6 impulsi), con filtrazione inerente di 3 mm Al; il sistema di registrazione dell'immagine in grafia era costituito da uno schermo di rinforzo *Agfa Curix EU Cassette* e da pellicole *Fotoindustria* mentre la visualizzazione dell'immagine in scopia era effettuata con un intensificatore di brillantezza *Siemens Sirecon 2 RBV*.

In tabella I sono mostrate le caratteristiche delle apparecchiature e le tecniche adottate di routine, confrontate con le norme di buona tecnica radiografica raccomandate nel documento della Comunità Europea [1].

La giustificazione dell'esame -ritenuta, in modo particolare per i pazienti in età pediatrica, la forma più efficace di radioprotezione- è avvenuta attraverso la selezione dei pazienti: l'esame era eseguito nel caso di bambini che avessero avuto una IVU alta, IVU basse recidivanti, IVU basse in età inferiore ai 3 anni, patologie malformative note ed altre indi-

Introduction

The aim of this study was to optimise exposure to ionising radiation of children undergoing micturating cystourethrography (MCU).

Radiological risk is greater in children than in the rest of the population because of their longer life expectancy and the greater radio-sensitivity of their organs [1-3]. Moreover, children are often non cooperative during the examination, cooperation depending on the subject's character, age and the environment in which the procedure takes place [2]. These aspects often make performance of the examination more difficult and longer, resulting in the administration of higher radiation doses than strictly necessary. In many cases a parent will have to remain with the child during the examination: if on the one hand this has the effect of calming the child and obviating the need to use immobilisation devices, on the other it also implies exposing the parent to scattered radiation and therefore another risk to be considered.

In this context, specific criteria for performing and optimising the examination are required that reflect the special needs and conditions of paediatric imaging.

Materials and methods

Over a three-year period we performed dosimetric measurements on 220 children aged 1 month to 18 years undergoing MCU; 68 were boys (31%) and 152 were girls (69%).

The predominant indication for the examination was urinary tract infection (UTI), often associated with anatomical abnormalities such as vesicoureteral reflux; more specifically, 73% of the patients in our study were referred for UTI, 17% for follow-up of a previously diagnosed reflux and 9% for other conditions. Among the patients studied by MCU vesicoureteral reflux was diagnosed in 20% cases.

The radiodiagnostic equipment used consisted of a Siemens Garantix 1000 (3 phases 6 pulses), with 3mm of aluminium filtration, an Agfa Curix EU Cassette and Fotoindustria films for radiography and a Siemens Sirecon 2 RBV image intensifier for fluoroscopy.

Table I shows the equipment specifications and routine techniques, compared with the good radiographic practices recommended by the European Communities [1].

Justification of the examination — which is believed to be the most effective form of radiation protection especially in children — was provided by the selection of patients: the exam was performed for high UTI, recurrent low UTI, low UTI in children younger than 3 years of age, known malformations, and other specific, less frequent, clinical indications for the morphological evaluation of the lower urinary tract.

The examination procedure had been standardised according to a protocol established by a working group of paediatricians, radiologists and physicists. The examination, which involves exposure of a vast area of the body including particularly radio-sensitive organs such as the gonads, was divided into two phases: in the first (filling, or passive, phase) the

TABELLA I. —Caratteristiche tecniche dell'esecuzione dell'UCM.

Parametri tecnici	EUR 16261	Questo lavoro
Apparecchiatura radiografica	Unità con spot-film e fluoroscopica	Unità con spot-film e fluoroscopica
Macchia focale	0,6 mm (<1,3 mm)	0,6 e 1,3 mm (o automatico?)
Filtrazione aggiunta (a 2,5 mm Al)	1 mm Al+0,1-0,2 mm Cu	Inizialmente: nessuna (tot. 3 mm Al); in seguito: 2 mm Al (tot. 5 mm Al)
Griglia antidiffusione	No	No
Combinazione film-schermo	Classe 400-800	Elevata sensibilità
Distanza oggetto-pellicola	Più piccola possibile	13 cm (fissa)
Tensione	70-90 kVp (120)	55-66 kVp in grafia (manuale) 70-90 kVp in scopia (automatica)
Controllo automatico della esposizione	Evitare che il mezzo di contrasto copra la camera	Esposizione manuale in grafia
Tempo di esposizione (grafia)	<20 (40) ms	Automatico
Protezione deller gonadi	Capsule protezione testicoli per i maschi	Non applicate

TABLE I. —*Technical characteristics of the MCU examination.*

Technical parameters	EUR 16261	This study
Radiographic equipment	Unit with spot-film and fluoroscopy	Unit with spot-film and fluoroscopy
Focal spot	0,6 mm (<1.3 mm)	0.6 e 1.3 mm (or automatic?)
Added filtration (to 2.5 mm Al)	1 mm Al+0.1-0.2 mm Cu	Initially: none (tot. 3 mm Al); then: 2 mm Al (tot. 5 mm Al)
Antiscatter grid	No	No
Film-screen combination	Classe 400-800	High sensitivity
Object-to-film distance	As short as possible	13 cm (fixed)
High voltage	70-90 (120) kVp	55-66 kVp radiography (manual) 70-90 kVp fluoroscopy (automatic)
Automatic exposure control	Chamber should not be covered by contrast-filled-bla	Manual exposure in radiography
Exposure time (radiography)	<20 (40) ms	Automatic
Gonad shielding	Gonad capsules for males	Not applied

cazioni cliniche specifiche, meno frequenti, per la valutazione morfologica delle basse vie urinarie.

Le modalità di esecuzione dell'esame erano state standardizzate con un protocollo stabilito da un gruppo di lavoro composto da pediatri, radiologi e fisici. L'esame, che comporta l'esposizione di un'ampia area corporea comprendente organi particolarmente sensibili agli effetti delle radiazioni quali le gonadi, è stato suddiviso in due fasi: nella prima (fase di riempimento o fase *passiva*) la vescica del paziente veniva riempita, mediante un catetere, con un mezzo di contrasto iodato ionico, mentre nella seconda (fase *minzionale* o fase *attiva*) il bambino veniva fatto urinare. L'esame era condotto prevalentemente sotto controllo fluoroscopico, di cui viene raccomandato l'uso a brevi "flash" [1, 4], con i parametri di esposizione, *kVp* e *mA*, seleziona-

patient's bladder was filled with iodinated ionic contrast material via a catheter, whereas in the second (voiding, or active, phase) the child was instructed to urinate. The examination was performed prevalently with fluoroscopic control, used in short intermittent flashes as recommended [1, 4], with automatically selected kVp and mA exposure parameters. In addition, manual radiographs were performed in the AP view. Where the findings did not warrant a more detailed study, a first radiograph taken in correspondence with peak bladder filling and a second one taken during micturition were considered sufficient. In the event that the scarcity of micturition had impaired radiographic information, we took into account the radiologist's description of fluoroscopic findings so as to avoid unnecessary repeat examinations.

In 220 patients undergoing MCU we determined the area

TABELLA II. — Valori medi dei parametri di esposizione in grafia e scopia (tra parentesi l'intervallo di variazione).

Fascia di età	Parametri grafia			Parametri scopia			
	N.	mAs	kVp	N.	mA	kVp	Tempo (s)
0-1 anni	35	18 (8-25)	57 (52-63)	23	1,4 (1,0-2,0)	73 (58-92)	28 (4-101)
>1-5 anni	38	22 (16-32)	60 (55-66)	31	1,8 (1,1-3,0)	78 (68-100)	49 (5-224)
>5-10 anni	21	26 (20-40)	62 (57-68)	15	2,0 (1,2-2,6)	83 (75-100)	49 (8-131)
>10 anni	8	37 (20-54)	64 (60-70)	5	1,9 (1,4-2,5)	84 (78-95)	87 (16-208)

TABLE II.—Average values of the exposure parameters in radiography and fluoroscopy (within brackets the variation interval).

Age group	Radiography parameters			Fluoroscopy parameters			
	No.	mAs	kVp	No.	mA	kVp	Time (s)
0-1 years	35	18 (8-25)	57 (52-63)	23	1,4 (1,0-2,0)	73 (58-92)	28 (4-101)
>1-5 years	38	22 (16-32)	60 (55-66)	31	1,8 (1,1-3,0)	78 (68-100)	49 (5-224)
>5-10 years	21	26 (20-40)	62 (57-68)	15	2,0 (1,2-2,6)	83 (75-100)	49 (8-131)
>10 years	8	37 (20-54)	64 (60-70)	5	1,9 (1,4-2,5)	84 (78-95)	87 (16-208)

ti automaticamente dall'apparecchiatura. Inoltre sono state eseguite radiografie in proiezione anteroposteriore con modalità manuale. Qualora non si fosse verificata la necessità di una documentazione più ricca per il riscontro di anomalie morfologiche e/o funzionali, era sufficiente una prima radiografia in corrispondenza del massimo riempimento della vescica ed una seconda durante la minzione. Nel caso in cui la fugacità della minzione non avesse reso possibile la documentazione radiografica, al fine di evitare inutili ripetizioni dell'esame veniva ritenuta valida la descrizione dei rilievi scopici da parte del radiologo.

Per 220 pazienti sottoposti ad UCM è stata misurata la dose areale (KAP -kerma in aria integrato sull'area del fascio-) e, per 78 di essi, sono stati misurati anche la dose entrante ed uscente. Il KAP è stato misurato con la camera a ionizzazione Diamantor (PTW, Freiburg), che ha costituito una filtrazione addizionale di 0,5 mm Al. L'incertezza associata alla risposta in energia, nell'intervallo delle tensioni utilizzate, è stata del 5% circa. Per una corretta valutazione della dose impartita al paziente occorre tenere conto che non tutta la dose areale rilevata dalla camera ha inciso effettivamente sul paziente, in quanto il campo di radiazione può eccedere le dimensioni del paziente oppure perché la camera rileva anche radiazione che viene diffusa dai collimatori e che non incide sul paziente [5]. L'incertezza complessiva da associare alla lettura dello strumento, è stata valutata nel 25% circa.

La misura della dose superficiale di ingresso ed uscente dal paziente è stata eseguita utilizzando cinque dosimetri a termoluminescenza (TLD), applicati a coppie sulla parte del corpo direttamente irraggiata, sia anteriore che posteriore ed uno in corrispondenza della tiroide. I TLD utilizzati sono del tipo LiF:Mg,Cu,P (GR-200A), calibrati in equivalente di dose profonda al tessuto, con errore sulla lettura pari a $\pm 8\%$ per letture maggiori di 200 μSv e $\pm 30\%$ per valori inferiori. L'impiego a coppie dei TLD è stato deciso per la necessità di ottenere una stima più precisa della dose entrante ed uscente, in quanto esse sono influenzate dai movimenti incontrollati del paziente. Il rapporto tra deviazione standard e media delle letture delle coppie di TLD è stata del 10,7%, mentre le singole differenze hanno raggiunto il 40% [6].

dose (DAP - air kerma integrated on the beam area) and, in 78 of these, we also measured the entrance and exit dose. The DAP was measured with a Diamantor ionisation chamber (PTW, Freiburg), which provided additional filtration of 0.5 mm Al. The uncertainty due to the energy response, in the range of voltages used, was approximately 5%. For a correct evaluation of the patient dose it should be borne in mind that not all the area dose detected by the chamber is actually delivered to the patient, either because the radiation field is larger than the patient or because the chamber also detects the radiation scattered by the collimators and that does not affect the patient [5]. Overall uncertainty due to the reading was considered to be approximately 25%.

Measurement of the entrance and exit surface dose was performed using five thermoluminescent dosimeters (TLD), applied in pairs on the body part being directly irradiated, both anteriorly and posteriorly, and one in correspondence with the thyroid. The TLD used were LiF:Mg,Cu,P (GR-200A), calibrated at deep-tissue equivalent dose, with reading error equal to $\pm 8\%$ for readings greater than 200 mSv and $\pm 30\%$ for lower readings. The decision to use paired TLD was dictated by the need to obtain a more accurate estimation of entrance and exit dose, as these are affected by the patient's uncontrolled movements. The ratio between standard deviation and average readings by the pairs of TLD was 10.7%, whereas the single differences reached 40% [6].

We also measured the dose received by the parent or accompanying person, by using a total of three TLDs, one applied on the outer surface of the lead-rubber coat (0.5 mm Pb equiv.), one underneath the coat and one on the wrist: this way we were able to evaluate the absorbed dose to the lens of the eye and to the hands and the equivalent dose.

The mean dose absorbed in the patient's whole body, \bar{D} , was determined based on the energy delivered which, in turn, was derived from the DAP value by linear interpolation of available conversion coefficients calculated with the Monte Carlo method applied to soft-tissue phantoms of sizes representative of children of different age groups [5, 6]. Patient thickness was evaluated by calculating the equivalent diameter [7]:

È stata effettuata anche una valutazione della radiazione ricevuta dall'accompagnatore presente accanto al bambino, utilizzando complessivamente tre *TLD* applicati uno all'esterno del camice in gomma piombifera indossato (0,5 mm Pb equiv.), uno sotto ed uno al polso: in questo modo è stato possibile valutare le dosi equivalenti al cristallino e alle mani e la dose efficace.

La dose media assorbita dal corpo intero del paziente, \bar{D} è stata determinata per mezzo dell'energia impartita e che, a sua volta, è stata calcolata dal valore di KAP interpolando linearmente i coefficienti di conversione disponibili in letteratura, ricavati con il metodo *Monte Carlo* applicato a fantocci simulanti tessuto molle ed aventi dimensioni rappresentative di bambini di diversa età [5, 6]. Lo spessore del paziente è stato valutato attraverso il calcolo del diametro equivalente [7]:

$$d_{eq} = 2 \cdot \sqrt{\frac{W}{1000 \cdot \pi \cdot H}} \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

essendo W la massa in kg ed H l'altezza in m. L'incertezza associata all'energia impartita così calcolata è stata complessivamente pari al 50%.

Nota la massa M del paziente, la dose media \bar{D} assorbita dal corpo intero supposto uniformemente irraggiato è stata calcolata come $\bar{D} = \frac{K}{M}$, con una incertezza pari a quella dell'energia impartita, in quanto l'incertezza sulla misura della massa si può ritenere trascurabile.

Il confronto tra le tecniche operative utilizzate e le norme di buona tecnica radiografica raccomandate, unitamente ai risultati di alcuni lavori di letteratura [1, 8-10], hanno suggerito l'impiego di una filtrazione aggiuntiva di alluminio sul fascio di radiazione al fine di ridurre la componente molle. In accordo con i radiologi, che in sede di esame hanno valutato l'impatto in termini di variazione di qualità dell'immagine per valori crescenti di filtrazione, è stato deciso di utilizzare una filtrazione supplementare di 2 mm Al, portando così la filtrazione totale a 5 mm Al, con conseguente riduzione del valore di KAP dal 40% a 80 kVp al 50% a 50 kVp senza apprezzabili variazioni della qualità dell'immagine [6]. Tale procedura ha comportato quindi anche una riduzione, all'incirca nella stessa misura, della dose alle gonadi dei maschi in quanto questi organi, quasi sempre esposti al fascio di radiazione diretta, solitamente non possono essere schermati.

Risultati

I valori medi dei parametri di esposizione sono riportati in Tabella II dove è stata adottata la suddivisione dei pazienti nelle fasce di età raccomandate dalla Comunità Europea [1].

I parametri di grafia sono stati rilevati per 102 pazienti, mentre quelli di scopia (dove si ha una notevole incertezza sulle letture di mA e kVp in quanto i valori erano visualizzati su indicatori analogici) sono stati rilevati per 74 pazienti. Il numero di esami per i quali sono disponibili i valori dei parametri di esposizione è inferiore al totale dei pazienti esaminati in quanto nella fase iniziale del lavoro tali grandezze non venivano rilevate.

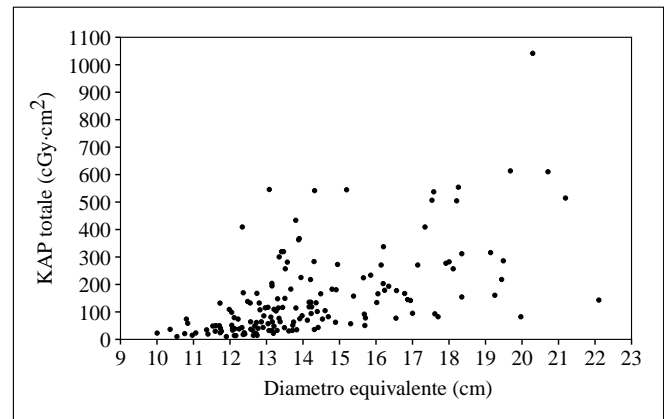


Fig. 1. — KAP e diametro equivalente dei piccoli pazienti. KAP and equivalent diameter of paediatric patients.

$$d_{eq} = 2 \cdot \sqrt{\frac{W}{1000 \cdot \pi \cdot H}} \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

where W is the mass in kg and H the height in m. The uncertainty due to imparted energy thus calculated was 50%.

Knowing the patient's mass M , the mean dose K absorbed by the whole body assumed to be uniformly irradiated was calculated as being $\bar{D} = \frac{K}{M}$, with an uncertainty equal to that

of imparted energy, the uncertainty related to mass measurement being negligible.

The comparison between the two techniques used and the recommended good radiographic techniques, together with the results of literature reports [1, 8-10], suggested the use of additional aluminium filtration on the radiation beam to reduce its soft component. In agreement with the radiologists, who during the examination evaluated the impact of increasing filtration values on image quality, it was decided to utilise added filtration of 2 mm Al, thereby bringing total filtration to 5 mm Al, with resulting reduction of the KAP value from 40% at 80 kVp to 50% at 50 kVp without appreciable differences in image quality [6]. This procedure also entailed a similar reduction in the dose to the boys' gonads, since these organs are almost always exposed to direct radiation and cannot be shielded.

Results

The mean values of the exposure parameters are shown in Table II where the patients are subdivided into the age groups recommended by the European Community [1].

The radiography parameters were assessed for 102 patients, while the fluoroscopy parameters (for which uncertainty is considerable for the mA and kVp readings since the values were visualised analogically) were assessed for 74 patients. The number of examinations for which we have the exposure parameter values is smaller than the total number of patients examined since these values were not detected in the initial phases of the study.

The KAP values detected in each examination, performed

TABELLA III. — Valori medi, deviazione standard, intervallo di variabilità (tra parentesi) e numero di pazienti per fascia di età per le grandezze dosimetriche misurate e calcolate.

	Fascia di età				Campione totale
	0-1 anni	>1-5 anni	>5-10 anni	>10 anni	
DAP (cGy·cm ²)	57±43 (12-221)	172±131 (30-546)	227±171 (50-987)	419±233 (143-1043)	160±161 (12-1043)
Numero pazienti	78	84	42	16	220
Energia impartita (mJ)	3,79±2,33 (0,99-10,7)	11,85±9,31 (2,83-44,6)	15,59±9,90 (4,35-47,3)	39,28±31,77 (13,03-104,0)	11,98±14,09 (0,99-104,0)
Dose media corpo intero (mGy)	0,472±0,261 (0,126-1,235)	0,877±0,693 (0,238-3,110)	0,629±0,399 (0,202-1,620)	0,942±0,668 (0,418-2,237)	0,692±0,544 (0,126-3,110)
Numero pazienti	32	36	21	7	96
Dose superficiale di ingresso (mGy)	2,21±1,52 (0,70-6,62)	5,82±3,21 (1,84-13,59)	9,06±6,11 (2,43-26,08)	16,58±13,88 (6,63-35,67)	6,10±6,00 (0,70-35,67)
Dose superficiale in uscita (mGy)	0,269±0,184 (0,084-0,994)	0,427±0,272 (0,092-0,187)	0,411±0,277 (0,152-1,158)	0,571±0,392 (0,109-0,923)	0,376±0,263 (0,084-1,187)
Numero pazienti	25	30	18	5	78

TABLE III.—Average values, standard deviations, variability interval (within brackets) and number of patients per age group for each of the measured and calculated dosimetric quantities.

	Age group				Total sample
	0-1 year	>1-5 years	>5-10 years	>10 years	
DAP (cGy·cm ²)	57±43 (12-221)	172±131 (30-546)	227±171 (50-987)	419±233 (143-1043)	160±161 (12-1043)
Number of patients	78	84	42	16	220
Imparted energy (mJ)	3.79±2.33 (0.99-10.7)	11.85±9.31 (2.83-44.6)	15.59±9.90 (4.35-47.3)	39.28±31.77 (13.03-104.0)	11.98±14.09 (0.99-104.0)
Mean dose to whole body (mGy)	0.472±0.261 (0.126-1.235)	0.877±0.693 (0.238-3.110)	0.629±0.399 (0.202-1.620)	0.942±0.668 (0.418-2.237)	0.692±0.544 (0.126-3.110)
Number of patients	32	36	21	7	96
Entrance surface dose (mGy)	2.21±1.52 (0.70-6.62)	5.82±3.21 (1.84-13.59)	9.06±6.11 (2.43-26.08)	16.58±13.88 (6.63-35.67)	6.10±6.00 (0.70-35.67)
Exit surface dose (mGy)	0.269±0.184 (0.084-0.994)	0.427±0.272 (0.092-0.187)	0.411±0.277 (0.152-1.158)	0.571±0.392 (0.109-0.923)	0.376±0.263 (0.084-1.187)
Number of patients	25	30	18	5	78

I valori di KAP rilevati ad ogni singolo esame, la cui esecuzione è stata affidata nel corso del tempo a diversi operatori, sono mostrati in figura 1 in funzione del diametro equivalente del paziente.

In Tabella III sono mostrati, per fasce di età, i risultati relativi alle grandezze dosimetriche rilevate e calcolate. La misura della dose entrante ed uscente ha consentito anche di calcolare per ogni paziente il rapporto di trasmissione, che risulta essere mediamente dell'8%.

La consistenza del campione è diversa per le varie grandezze considerate in quanto la rilevazione dei parametri di esposizione (necessari al calcolo dell'energia impartita e quindi della dose media al corpo intero) e l'uso dei TLD sono iniziati successivamente all'introduzione del KAP meter, grandezza invece rilevata per tutti i pazienti.

In tabella IV viene mostrato l'effetto della filtrazione aggiunta sulla dose areale erogata dal tubo. Tale valutazione è effettuata attraverso un confronto tra i valori di KAP mediamente erogati per singole esposizioni in grafia.

Si è valutata anche l'influenza dell'operatore sulla dose

by different operators in alternation, are shown in Figure 1 as a function of the patient's equivalent diameter.

Table III shows the results of the dosimetric measurements detected and calculated, by age group. Measurement of the entrance and exit dose also allowed calculation of each patient's transmission rate, which was 8% on average. Sample size differs for the different measurements since detection of the exposure parameters (necessary for calculating imparted energy and therefore the mean dose to the whole body) and the use of TLDs was started after the introduction of the KAP meter, a measurement that was instead performed in all patients. Table IV shows the effect of added filtration on the area dose delivered by the tube. This evaluation was made by comparing the mean KAP values delivered for each radiographic exposure.

We also evaluated the effect of the operator on the imparted dose. About 75% of the KAP was imparted in fluoroscopy, the duration of which was depended on the operator. Figure 2 shows the mean DAP values delivered in fluoroscopy (and in the same operational conditions) by two different radiol-

TABELLA IV.—Valori medi e deviazione standard del KAP per esposizione radiografica senza e con filtrazione addizionale di Al.

Fascia di età	Dose areale media per esposizione radiografica, cGy.cm ²				Differenza
	Senza filtrazione aggiunta	N.	Con filtrazione aggiunta	N.	
0-1 anni	11,9±2,7	17	7,4±2,7	15	-37,8%
>1-5 anni	16,5±5,5	27	12,6±4,0	9	-23,6%
>5-10 anni	20,2±6,1	15	19,3±10,8	6	-4,5%
>10 anni	35,9±23,5	4	44,6±15,5	3	+24,2%
Campione totale	17,4±9,1	73	14,4±12,4	33	-17,2%

TABLE IV.—Average values and standard deviation of the KAP per radiographic exposure without and with added Al filtration.

Age group	Mean KAP per radiographic exposure, cGy.cm ²				Difference
	Without added filtration	No.	With added filtration	No.	
0-1 years	11.9±2.7	17	7.4±2.7	15	-37.8%
>1-5 years	16.5±5.5	27	12.6±4.0	9	-23.6%
>5-10 years	20.2±6.1	15	19.3±10.8	6	-4.5%
>10 years	35.9±23.5	4	44.6±15.5	3	+24.2%
Total sample	17.4±9.1	73	14.4±12.4	33	-17.2%

impartita al paziente. Il 75% circa del DAP era impartito in scopia, la cui modalità d'uso in termini di tempo era a discrezione dell'operatore che eseguiva l'esame. In figura 2 sono mostrati i valori medi di DAP impartiti in scopia (e nelle stesse condizioni operative) da due diversi radiologi — denominati "operatore A" ed "operatore B" — che si sono alternati nell'esecuzione dell'esame.

In tabella V vengono mostrati i valori medi di equivalente di dose e di dose efficace rilevati per gli accompagnatori presenti in 60 esami; in alcuni casi sono stati presenti anche due accompagnatori.

Discussione

I valori di tensione utilizzati in grafia, mostrati in Tabella I, sono mediamente inferiori a quelli proposti in letteratura; in scopia invece i valori di tensione sono in linea con quelli consigliati.

L'andamento del valore di DAP complessivo erogato per ogni esame, come mostrato in Figura 1, è crescente con l'età, anche se la correlazione è comunque debole: le dimensioni del bambino non sono perciò il solo fattore che determina la dose impartita, in quanto si ha una notevole dispersione di valori anche a parità di spessore. Ciò è particolarmente evidente per i bambini aventi un diametro equivalente tra i 12,5 cm ed i 15 cm, corrispondenti ad un'età compresa tra i 2 ed i 5 anni e per i quali si sono avuti maggiori problemi dal punto di vista comportamentale: i valori di DAP impartiti differiscono, a parità di dimensioni, anche di un ordine di grandezza. Il grado di collaborazione del bambino è quindi, come ci si attendeva, un fattore che incide sulla dose di radiazione in questo esame.

La suddivisione di pazienti in fasce di età, effettuata per raggruppare pazienti con dimensioni simili, consente un confronto con valori medi di dose areale per fascia di età ottenute in lavori analoghi. I valori ottenuti sono risultati

ogists — referred to as "operator A" and "operator B" — who took turns to perform the examination.

Table V shows the mean values of equivalent dose and effective dose detected for the accompanying persons present at 60 examinations; in some cases there were two accompanying persons.

Discussion

The voltages used in radiography, shown in Table I, are on average lower than those proposed in the literature, whereas those used in fluoroscopy are similar to the recommended voltages.

The overall DAP value delivered for each examination, as shown in Figure 1, increases with age, but the correlation is weak: the child's size is therefore not the only factor conditioning the imparted dose, as the values vary considerably even when thickness is the same. This is particularly evident in children with diameters between 12.5 cm and 15 cm, corresponding to an age between 2 and 5 years, in whom behavioural problems were greater: the imparted DAP values differ, in children of the same size, even by one order of magnitude. The child's degree of cooperation is therefore, as expected, a factor that affects the radiation dose in this examination.

The subdivision of patients into age groups, performed to group patients of similar size, enables a comparison to be made with the mean area dose by age group obtained in similar studies. The values obtained were lower (53%-75%) than those reported by other authors [11, 12, 13] whose protocol, however, envisaged a higher number of exposures.

Imparted energy increases with age and consequently with the size of the child: between the first and fourth age group the difference amount is to one order of magnitude. The mean dose absorbed in the whole body shows less variation, since with increasing age imparted energy is greater as is, however, the child's mass.

inferiori (dal 53 % al 75%) rispetto a quelli ottenuti da altri autori [11, 12, 13] il cui protocollo prevede però un numero maggiore di esposizioni.

L'energia impartita cresce all'aumentare dell'età e quindi delle dimensioni del bambino: tra la prima e la quarta fascia di età la differenza è di un ordine di grandezza. La dose media assorbita dal corpo intero presenta invece una variazione più contenuta, in quanto all'aumentare dell'età cresce l'energia impartita, ma contemporaneamente anche la massa del bambino.

I valori medi di dose superficiale d'ingresso ed uscente mostrano che la dose media entrante cresce all'aumentare dell'età, con una differenza tra la prima e l'ultima fascia di un ordine di grandezza. La variazione invece della dose misurata in uscita è più contenuta in quanto non dipende in modo determinante dalle dimensioni del paziente (e quindi dall'età).

È da rilevare che, per molte delle grandezze prese in esame, all'interno di ogni fascia di età — e quindi per pazienti di dimensioni simili — è riscontrabile all'incirca un ordine di grandezza tra il valore minimo e quello massimo.

I dati mostrano inoltre una riduzione della dose con l'aumentare della filtrazione, anche se di consistenza inferiore a quella attesa e non evidente per soggetti di età >10 anni (imputabile al ridotto campione di pazienti di questo gruppo). La corrispondente riduzione della dose impartita in fluoroscopia è sicuramente inferiore in quanto le tensioni impiegate sono state mediamente più elevate rispetto a quelle impiegate in grafia. In ogni caso l'effetto di questo intervento di ottimizzazione è inferiore, in termini di riduzione di dose, a quello che si otterrebbe attraverso un uso adeguato — in termini di tempo di esposizione — del fascio in fluoroscopia.

Importante rilevare che, alla luce di questi dati, l'Azienda Sanitaria milanese ha recepito la necessità di sostituire l'apparecchiatura radiologica con una più moderna ed adeguata a questo tipo di indagine.

L'analisi dei dati mette in evidenza (fig. 2), per ogni fascia di età, un minore valore di dose areale mediamente impartito da parte del medico radiologo "A" rispetto all'operatore "B". Tale differenza — fino al 70% di dose in meno — è riconducibile al diverso modo di utilizzo della fase di scopia: esso veniva impiegato dall'operatore A a "flash", cioè con esposizioni brevissime ma con una adeguata visione della situazione, mentre l'operatore B faceva uso di tempi più prolungati, impartendo così complessivamente una dose maggiore. L'utilizzo di un sistema di fermo-immagine, con la nuova attrezzatura adottata dall'Azienda, ridurrà quindi sensibilmente la dose media impartita in questo esame uniformando i diversi modi di operare in scopia e limitando il tempo di esposizione allo stretto necessario.

I valori di dose efficace all'accompagnatore sono trascurabili. La sua presenza pertanto, purché protetto con un camice in gomma piombifera, si può ritenere giustificata, soprattutto in relazione al beneficio che ne può trarre il bambino. La protezione anche di altre parti del corpo esposte alla radiazione diffusa, ad esempio le mani con guanti in gomma piombifera, alla luce dei risultati ottenuti può essere evitata, anche perché l'impiego di queste misure di sicurezza potrebbe avere un impatto psicologico negativo sul bambino e rivelarsi alla fine controproducente. Anche la

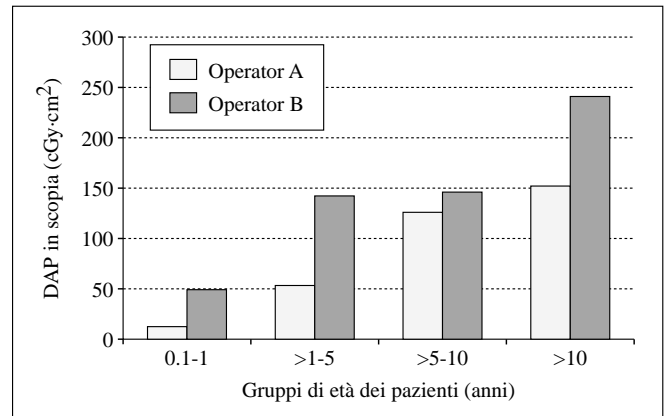


Fig. 2. — DAP impartita in fluoroscopia, suddivisa tra i due operatori e per fasce di età.

DAP imparted in fluoroscopy, separated for the two radiologists and for age group.

The mean values of entrance and exit surface doses show that the mean entrance dose increases with age, with a difference between the first and last age group of one order of magnitude. Instead, the variation in the exit dose is smaller not being significantly dependent on the patient's size (and therefore age).

It should be noted that for many of the quantities considered, within each age group — and consequently for patients of similar size — we found a difference between the minimum and maximum values of one order of magnitude.

The data also show a reduction in dose with greater filtration, even though this was less than expected and not evident for subjects >10 years of age (owing to the small number of patients in this group). The corresponding reduction in dose imparted in fluoroscopy is definitely smaller in that the voltages employed were on average higher than those used in radiography. At any rate, the effect of this optimization procedure is inferior, in terms of dose reduction, to that obtainable through an appropriate use - in terms of exposure time - of the beam in fluoroscopy.

It is important to note that these results alerted the Hospital to the need to replace the radiological equipment in use with more modern equipment suitable for this type of examination.

The analysis of the data indicates (fig. 2), for each age group, a smaller area dose imparted on average by "operator A" compared to "operator B". This difference — up to 70% — can be explained by the different ways of using the fluoroscopy phase: operator A used it in flashes, with exposures that were very short but enabled an adequate view of the situation, whereas operator B used longer exposure times, thereby imparting an overall greater dose. The use of a freeze-frame system, with the new equipment acquired by the Hospital, will considerably reduce the mean dose imparted in this examination by standardising the use of fluoroscopy and limiting exposure time to the bare minimum.

The values of effective dose to the parent or accompanying person are negligible. Provided that these persons are protected by a lead-rubber coat their presence is justified, especially if we consider the benefit for the child. As indi-

TABELLA V. — Dose efficace ed equivalente agli accompagnatori (con una deviazione standard).

Organo controllato	Dose
Dose efficace	4±7 µSv
Dose equivalente al cristallino, tiroide	20±19 µSv
Dose equivalente alle estremità superiori	96±303 µSv

protezione del cristallino con occhiali schermati è di poca rilevanza viste le dosi in gioco.

Conclusioni

La caratteristica specifica degli esami su pazienti in età pediatrica è la notevole dispersione dei valori di dose impartita, sul campione totale ma anche per fascia di età, in quanto essa non dipende solo dalle dimensioni del bambino ma anche dal suo grado di collaborazione e dalla tecnica dell'operatore che esegue l'esame.

L'ottimizzazione dell'esame richiede in primo luogo interventi tecnici quali i controlli di qualità sulle apparecchiature radiogene utilizzate e l'adozione delle buone tecniche radiografiche. La conoscenza in tempo reale del valore di DAP e, soprattutto, del tempo di esposizione in scopia - grandezza più immediatamente comprensibile rispetto alla prima - hanno contribuito alla sensibilizzazione degli operatori sanitari al problema della radioprotezione e della riduzione della dose impartita: i risultati mostrano infatti che la tecnica dell'operatore influisce, sotto questo aspetto, in misura maggiore rispetto ad altri accorgimenti di ottimizzazione. È inoltre necessario, ove gli esami vengano eseguiti in reparti non specificatamente dedicati a bambini, creare condizioni ambientali adeguate in modo da ottenere la massima collaborazione dei piccoli pazienti ed abbreviare così i tempi di esposizione.

Il medico specialista, infine, ha un compito importante nella giustificazione dell'esame: esso infatti, secondo il DLgs 187/00, deve valutare anche la possibilità di utilizzare tecniche sostitutive a quelle espletate con le radiazioni ionizzanti, ed evitare di eseguire esami superflui.

TABLE V.—Effective and equivalent dose to the parents (with one standard deviation).

Organ evaluation	Dose
Effective dose	4±7 µSv
Dose equivalent to eye lens, thyroid	20±19 µSv
Dose equivalent to upper extremities	96±303 µSv

cated by our results, protection of other body parts exposed to scattered radiation, for example lead-rubber gloves for the hands, is unnecessary and may even be counterproductive given the negative psychological impact it may have on the child. Even protection of the eye lens with shielded glasses is unnecessary given the doses at stake.

Conclusions

The typical feature of paediatric examinations is the considerable variability of imparted dose, considering both the whole sample and the sample divided by age group, since it depends not only on the child's size but also on his/her cooperation and the operator's technique.

Optimization of the examination requires first of all technical measures such as quality checks on the radiogenic equipment and the adoption of the recommended good radiological techniques. Real-time knowledge of the DAP value and, more importantly, of fluoroscopy exposure time — a measure more immediately understandable than DAP — contributed to sensitising health care workers to the issue of radiation protection and dose reduction: our results show that the operator's technique has a greater effect on dose than other optimisation measures. Moreover, when the examinations are not performed in paediatric imaging units it is important to create a suitable environment so as to obtain maximum patient cooperation that will help shorten exposure time.

Finally, the specialist has an important role in providing justification for the exam: in accordance with the Decree of Law 187/00 the specialist must also evaluate the possibility of utilising alternative techniques not involving ionising radiation and avoid unnecessary examinations.

Bibliografia/References

- 1) European Communities: Quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics, EUR 16261, Office of Publications of the European Communities, Luxembourg, 1996.
- 2) NCRP, Radiation Protection in Paediatric Radiology, NCRP Report No 68, Washington, 2002.
- 3) ICRP: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of ICRP Vol 21 N 1-3, Oxford, 1991.
- 4) Ruiz MJ, Llorca AL, Gonzalez L et al: Radiodiagnóstico pediátrico: reducción de dosis de radiación a pacientes. Radiología 35: 169-172, 1993.
- 5) Persliden J, Sandborg M: Conversion factors between energy imparted to the patient and air collision kerma integrated over beam area in paediatric radiology. Acta Radiol 34: 92-98, 1993.
- 6) Mantovani A: La radioprotezione del paziente in radiologia pediatrica: stima del rischio radiologico in uretrocistografia minzionale e controlli di qualità. Tesi Università degli Studi di Pavia, 1996.
- 7) Lindskoug BA: The reference man in diagnostic radiology dosimetry. Br J Radiol 65: 431-437, 1992.
- 8) Brown PH, Thomas RD, Silberberg PJ, Johnson LM: Optimization of a fluoroscope to reduce radiation exposure in pediatric imaging. Pediatr Radiol 30: 229-235, 2000.
- 9) Seppanen U, Tornainen P, Kiviniitty K: Radiation gonad doses received by children in intravenous urography and micturition cysto-urethrography. Pediatr Radiol 8: 169-172, 1979.
- 10) Kyriou K, Pettet A, Fitzgerald M: Guidelines on Best Practice in the X-Ray Imaging of Children. Eur J Radiol 33: 1-67, 2000.
- 11) González L, Vaño E, Ruiz MJ: Radiation doses to paediatric patients undergoing micturating cystourethrography examination and potential reduction by radiation protection optimisation. Br J Radiol 68: 291-295, 1995.
- 12) Ruiz MJ, Vaño E, González L, Fernandez JM: Dose-area product values in frequently performed complex paediatric radiology examinations. Br J Radiol 69: 160-164, 1996.
- 13) Almén A, Mattsson S: The radiation dose to children from X-ray examinations of the pelvis and the urinary tract. Br J Radiol 68: 604-613, 1995.

E. Giroletti
 Università di Pavia
 Dipartimento Fisica Nucleare e Teorica
 Via Bassi, 6
 27100 Pavia PV
 Tel. 0382/507905
 E-mail: elio.giroletti@unipv.it