



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in:
TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA,
PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA

Dosimetria degli esami contrastografici nei pazienti pediatrici

Relatore:

Dott. Alberto Mari

Correlatore:

Dott. Ssa Gabriella Pascucci

Tesi di Laurea di:

Claudio Medardoni

A.A. 2018/19

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag. 3
2. CAPITOLO 1: RADIOLOGIA CONTRASTOGRAFICA PEDIATRICA	pag. 4
3. CAPITOLO 2: RADIOSENSIBILITA'	pag. 18
4. CAPITOLO 3: LDR, NORMATIVA ITALIANA E INTERNAZIONALE	pag. 26
5. CAPITOLO 4: RACCOLTA DATI	pag. 33
6. CAPITOLO 5: RISULTATI	pag. 36
7. CONCLUSIONI	pag. 44
8. BIBLIOGRAFIA	pag. 45

INTRODUZIONE

Gli esami contrastografici in radiologia pediatrica continuano ad essere procedure diagnostiche ancora frequentemente eseguite e con livelli dosimetrici non trascurabili.

La complessità della gestione del paziente pediatrico unita alla frequente non collaborazione dei pazienti rende difficile l'ottimizzazione degli esami e quindi la riduzione dei livelli di esposizione.

Nonostante queste difficoltà risulta tuttavia mandatorio cercare di ridurre al minimo le esposizioni proprio in relazione all'elevata radiosensibilità dei pazienti pediatrici. A livello internazionale e nazionale si è iniziato ad impiegare sempre più frequentemente lo strumento dei livelli Diagnostici di Riferimento, al fine di confrontare, omogeneizzare e ottimizzare le procedure. La principale difficoltà nell'impiego di questi strumenti è che ancora non esiste un'omogeneità nella raccolta dei dati, nella definizione delle procedure e nella classificazione dei pazienti. I dati attualmente disponibili infatti riportano sia una divisione per età che per peso, in ambiente pediatrico tuttavia questo può portare a una non corretta interpretazione dei dati. In questo lavoro di tesi verranno raccolti ed elaborati i dati riferiti agli esami contrastografici eseguiti sul tratto gastro-intestinale e sul tratto urogenitale presso l'Ospedale Pediatrico "G. Salesi" di Ancona.

Essi verranno classificati ed analizzati secondo i due diversi approcci presenti in letteratura e verranno ricavate delle indicazioni per la pratica clinica.

CAPITOLO 1

RADIOLOGIA CONTRASTOGRAFICA PEDIATRICA: TIPOLOGIE DI ESAMI

La radiologia pediatrica si discosta da quella dell'adulto per tecnica d'esecuzione, approccio generale al paziente e radioprotezione. I bambini non sono piccoli adulti, la radiosensibilità dei tessuti e degli organi in età pediatrica è più elevata rispetto a quella dell'età adulta. Per questo motivo risulta di particolare importanza attenersi al D.Lgs 187/00, in attuazione della direttiva 97/43/EURATOM in materia di radioprotezione sanitaria, che si basa su due principi fondamentali: la giustificazione dell'esame radiologico e l'ottimizzazione della prestazione. L'appropriatezza di un'indagine diagnostica radiologica è dipendente dalla possibilità di rispondere ad un quesito diagnostico. Giustificare l'esame significa valutare prima i vantaggi diagnostici rispetto alla probabilità di danno alla persona che l'esposizione potrebbe causare, mentre ottimizzare significa utilizzare la dose minima di radiazioni utile ad avere immagini di sufficiente qualità.

Da un punto di vista pratico, va tenuto conto della possibilità che il paziente pediatrico non collabori durante l'esame. Ottenere la buona riuscita dell'esame può diventare una sfida, per vincerla, risulta fondamentale l'applicazione di protocolli standard e di speciali accorgimenti tecnici ai quali si farà successivamente riferimento. Prima che il bambino entri nella sala diagnostica va accertato, con un'anamnesi, che l'esame radiologico sia effettivamente utile e che l'accompagnatore abbia preso visione e firmato il modulo informativo; all'interno della sala diagnostica è molto importante che il bambino non rimanga solo durante l'esecuzione dell'esame (soprattutto per quelli più piccoli fino a 5/6 anni di vita), preparare il paziente all'esame per ottenere la massima collaborazione e gli accompagnatori per ottenere aiuto in caso di necessaria immobilizzazione. A tal proposito, può essere necessario l'utilizzo di sacchetti di sabbia o palette di plexiglass per bloccare mani e piedi.

Riguardo la radioprotezione, le protezioni piombate devono essere utilizzate, quando possibile, come schermatura dal fascio primario e dalle radiazioni secondarie. Al fine di ridurre al minimo l'irradiazione delle gonadi maschili, è compito del tecnico di radiologia proteggere lo scroto con una protezione piombata che sia di misura adeguata all'anatomia del bambino. Nei soggetti femminili, la protezione non può essere sempre usata, ma dipende dal quesito clinico e dalla necessità di visualizzare la pelvi.

Descrizione degli esami contrastografici

Cistouretrografia minzionale

La cistouretrografia minzionale è uno studio radiografico e fluoroscopico del tratto urinario inferiore. Richiede una cateterizzazione asettica della vescica, mezzo di contrasto iodato, osservazione fluoroscopica e documentazione iconografica dei reperti patologici.

Le indicazioni cliniche alla cistouretrografia sono:

- Anomalie congenite del tratto urinario
- Infezioni febbrili del tratto urinario, soprattutto se ricorrenti;
- Disuria/difficoltà alla minzione;
- Disfunzioni della minzione, come la vescica neurologica (disfunzione vescicale, flaccida o spastica, causata da un danno neurologico);
- Incontinenza;
- Idronefrosi o idroureteronefrosi;
- Ostruzione delle valvole uretrali;
- Ematuria;
- Trauma;
- Valutazione post-operatoria del tratto urinario.

Non ci sono controindicazioni assolute all'esame. Particolare attenzione va data nell'immediato post-operatorio, nei pazienti con pregressa reazione allergica, nei potenziali traumi dell'uretra e nelle lesioni spinali.

Cistouretrografia minzionale: riferimenti anatomici e difetti congeniti

L'apparato urinario inferiore, distretto in esame, è costituito dalla vescica e dall'uretra che consentono il convogliamento dell'urina all'esterno attraverso la minzione. La vescica è un organo impari, muscolo-membranoso del bacino con funzione di serbatoio. A pieno riempimento presenta una forma grossolanamente ovoidale, in cui si distinguono un apice rivolto in alto ed in avanti, una base ed un corpo; quando si svuota, il viscere si appiattisce, le sue pareti collabiscono ed il lume si riduce ad una fessura. Nel bacino maschile è delimitata in avanti dal pube, lateralmente dai muscoli otturatori interni e dal muscolo elevatore dell'ano, indietro dalle vescichette seminali, dall'ultima porzione dei dotti deferenti e dal tratto terminale degli ureteri, in basso dalla prostata. Nel bacino femminile, la base della vescica

prende rapporto con la parete anteriore della vagina, con la porzione sopravaginale del collo uterino e con il tratto terminale degli ureteri. Si fa notare che la vescica del bambino presenta una parete interna più liscia rispetto a quella dell'adulto. La minzione è un atto volontario condizionato dal grado di riempimento della vescica; esso comporta la contrazione del muscolo detrusore ed il rilasciamento degli sfinteri vescicali. La distensione del viscere, infatti, causando lo scatenarsi di impulsi propriocettori, determina l'eccitamento riflesso del muscolo detrusore. Al contrario, l'inibizione di tale muscolo e la contrazione dello sfintere favorisce il contenimento delle urine da parte dell'organo.

L'uretra maschile è un condotto della lunghezza di circa 18 cm nell'adulto, che ha inizio a livello del meato uretrale interno della vescica e termina alla sommità del glande del pene. L'uretra femminile è un condotto della lunghezza di 3 cm che ha inizio a livello del meato uretrale interno della vescica e termina in corrispondenza del tetto del vestibolo vaginale. Nel suo decorso, obliquo in basso ed in avanti, prende rapporto anteriormente con la sinfisi pubica, posteriormente con la parete anteriore della vagina, lateralmente col muscolo elevatore dell'ano.

Difetti congeniti dell'uretra

Esistono vari tipi di difetti congeniti dell'uretra, tali anomalie possono provocare la fuoriuscita di urina dal punto sbagliato o bloccarne il flusso.

Eventuali difetti dell'uretra che bloccano o rallentano il flusso di urina possono provocare il ristagno della stessa, che può dare luogo a infezioni delle vie urinarie. Il blocco del flusso di urina può anche aumentare la pressione all'interno della vescica e/o dei reni e danneggiarli nel tempo. Anche le infezioni frequenti possono danneggiare i reni. Il danno renale può provocare ipertensione e raramente insufficienza renale.

Le anomalie congenite dell'uretra nei maschi spesso comportano alterazioni anatomiche del pene e viceversa. Nelle bambine, le anomalie uretrali possono essere presenti senza altre anomalie dei genitali esterni. La riparazione chirurgica è necessaria quando la funzionalità è alterata o si desidera una correzione estetica.

Incordatura

Questa anomalia consiste in una curvatura del pene ventrale, laterale e/o rotazionale che è più evidente con l'erezione ed è causata da tessuto fibroso lungo il normale tratto del corpo spongioso o da una differenza nella dimensione dei due corpi spongiosi. Le corde possono essere associate a ipospadia. Una grave deformità può richiedere la correzione chirurgica.

Epispadia

L'uretra si apre sul dorso del glande o sull'asta peniena, oppure alla giunzione penopubica. Nelle bambine, l'uretra si apre tra clitoride e labbra o in sede addominale. L'epispadia può essere parziale (nel 15% dei casi) o completa; la forma più grave si verifica con l'estrofia

della vescica. La sintomatologia di epispadia consiste in incontinenza, rigurgito e infezioni delle vie urinarie.

Il trattamento di epispadia è chirurgico. Nell'epispadia parziale, la prognosi della continenza con la terapia è buona. Nella epispadia completa, la ricostruzione chirurgica isolata del pene può portare ad incontinenza persistente; per raggiungere un completo controllo urinario è necessaria la ricostruzione del tratto di efflusso vescicale.

Ipospadie

Questa patologia è causata dalla mancata canalizzazione e fusione dell'abbozzo uretrale. Si trova quasi sempre nei maschi, in cui l'uretra può sboccare sulla parte inferiore dell'asta peniena, a livello della giunzione penoscrotale, tra le pieghe scrotali o nel perineo. Le pliche prepuziali non divengono circolari e formano un cappuccio dorsale. L'ipospadia è frequentemente associata a incordatura.

La prognosi per una correzione funzionale ed estetica è buona. La chirurgia ambulatoriale a circa 6 mesi di età comporta la costruzione di una neouretra usando la cute dell'asta peniena o del prepuzio e la riparazione dell'incordatura. L'ipospadia è estremamente rara nelle bambine; l'uretra si apre nella parete vaginale.

Fimosi e parafimosi

La fimosi, la più diffusa anomalia del pene, è una stenosi del prepuzio con incapacità a retrarsi oltre il glande; può essere congenita o acquisita. La parafimosi è l'incapacità della cute prepuziale, retratta e stenotica, a essere ridotta distalmente oltre glande. La fimosi può rispondere ai corticosteroidi topici e a uno stretching delicato; alcuni ragazzi necessitano la circoncisione. La parafimosi deve essere ridotta immediatamente perché la compressione del prepuzio si comporta come un laccio emostatico, provocando edema e dolore. La compressione circonferenziale del prepuzio edematoso con le dita può ridurre l'edema in modo sufficiente a consentire al prepuzio di essere riportata nella sua posizione normale, spingendo il glande indietro attraverso il prepuzio stretto con entrambi i pollici. Se questa manovra è inefficace, si può praticare un'incisione dorsale in anestesia locale con un beneficio temporaneo. Quando l'edema si è risolto, la fimosi può essere trattata con circoncisione o corticosteroidi topici.

Stenosi del meato uretrale

In genere acquisita dopo la circoncisione nei bambini neonati, la stenosi del meato uretrale è talvolta congenita e associata a ipospadia. La meatotomia è necessaria in caso di deflusso urinario significativamente deflesso o da un orifizio a capocchia di spillo.

Stenosi uretrale

La stenosi uretrale causa l'ostruzione di una parte della lunghezza dell'uretra. Si verifica quasi sempre nei bambini, è di solito acquisita, e deriva tipicamente da un trauma da cavalcioni. La stenosi uretrale congenita può manifestarsi in modo simile alle valvole uretrali e può essere diagnosticata da un'ecografia in epoca pre-natale, o dopo la comparsa della sintomatologia da ostruzione o per la presenza di uraco pervio, ed è confermata con l'uretrografia retrograda. Il trattamento iniziale è spesso l'uretrotomia endoscopica, ma talora può essere necessaria un'uretroplastica a cielo aperto. Le duplicazioni e le triplicazioni uretrali sono anomalie uretrali. L'uretra pervia è il canale più ventrale. La cistouretrografia minzionale deve essere effettuata per determinare la pervietà e rilevare la connessione tra i canali e la vescica. L'intervento chirurgico è quasi sempre necessario.

Valvole uretrali

Nei bambini, pieghe nell'uretra posteriore possono agire come valvole compromettendo il flusso urinario. Le sequele urologiche delle valvole uretrali comprendono ritenzione urinaria, flusso urinario ridotto, infezione delle vie urinarie, incontinenza da iperafflusso, disfunzione vescicale miogena, reflusso vescico-ureterale, compromissione delle alte vie urinarie, e insufficienza renale. Le valvole occasionalmente coesistono con un uraco pervio. Poiché l'escrezione dell'urina fetale contribuisce al liquido amniotico, un'ostruzione uretrale severa può ridurre il liquido amniotico, che può causare ipoplasia polmonare e conseguente ipertensione polmonare e/o insufficienza respiratoria. L'ipertensione polmonare può quindi causare ipertensione sistemica. I casi gravi possono provocare decesso perinatale.

La diagnosi è spesso fatta dai risultati dell'ecografia prenatale di routine, includendo una grave idroureteronefrosi bilaterale. I casi sospetti nel periodo postnatale (spesso a causa di un'anamnesi di un flusso urinario anomalo) sono confermati con una cistouretrografia minzionale immediata. La chirurgia (solitamente per via endoscopica) è effettuata al momento della diagnosi per prevenire un progressivo deterioramento della funzione renale.

Un'altra anomalia molto meno frequente, il diverticolo dell'uretra anteriore, può comportarsi come una valvola (valvola dell'uretra anteriore) e viene anch'esso trattato endoscopicamente.

Difetti congeniti della vescica

Le anomalie congenite della vescica urinaria spesso si hanno senza altre anomalie dell'apparato genito-urinario. Esse possono causare infezione, ritenzione, incontinenza e reflusso. Le anomalie sintomatiche possono richiedere l'intervento chirurgico. Fra le anomalie più importanti:

- Diverticolo vescicale;
- Estrofia della vescica;

- Sindrome megavesicica;
- Vescica neurologica.

Diverticolo vescicale

Un diverticolo vescicale è un ernia della mucosa della vescica attraverso un difetto nel muscolo della stessa. Questo predispone ad infezioni delle vie urinarie e si può associare a reflusso vescico ureterale. Questa anomalia viene generalmente scoperta durante la valutazione di infezione delle vie urinarie ricorrenti in un bambino piccolo.

La diagnosi di diverticolo vescicale viene effettuata mediante cistouretrografia minzionale. Può essere necessaria l'ablazione chirurgica del diverticolo e la ricostruzione della parete vescicale.

Estrofia della vescica

Nell'estrofia, vi è un errore di chiusura della linea mediana dal cordone ombelicale al perineo, con conseguente continuità della mucosa vescicale con la pelle addominale, separazione della sinfisi pubica, ed epispadia o genitali bifidi. La vescica è aperta a livello sovrapubico, e l'urina fuoriesce dalla vescica aperta piuttosto che attraverso l'uretra. Malgrado la serietà della deformità, di solito è mantenuta una funzione renale normale.

La vescica può in genere essere ricostruita e riposizionata nella pelvi, sebbene il reflusso vescico-ureterale sia invariabilmente presente e necessita di trattamento. Potrebbe essere necessario un intervento chirurgico addizionale per correggere un reservoir vescicale che non si espande a sufficienza o che ha un'insufficienza sfinterica. Bisogna poi procedere alla ricostruzione dei genitali.

Sindrome megavesicica

In questa sindrome, sono presenti pareti sottili e lisce, senza evidenza di ostruzione dello sbocco, si sviluppa solitamente nelle bambine. La sindrome può essere il sintomo di un difetto mioneurale primario, specialmente se è anche presente un'occlusione intestinale (p. es., megavesicica-microcolon, sindrome da ipoperistalsi intestinale). I sintomi sono riferibili a infezioni delle vie urinarie ed è frequente la presenza di reflusso vescico-ureterale. L'ecografia a vescica vuota può rivelare vie escretrici superiori di aspetto normale, mentre la cistouretrografia minzionale può dimostrare reflusso con dilatazione massiva dei tratti superiori. Il reimpianto ureterale può essere efficace, ma alcuni pazienti trovano beneficio dalla profilassi antibatterica, lo svuotamento a tempo con modificazione del comportamento, cateterismo intermittente, o una combinazione.

Vescica neurologica

La vescica neurologica è una disfunzione della vescica causata da disturbi neurologici, tra cui danni al midollo spinale o anomalie del sistema nervoso centrale, traumi o postumi di chirurgia pelvica (p. es. teratoma sacro-coccigeo). La vescica può essere flaccida, spastica, o entrambe. Una vescica flaccida presenta un alto volume, bassa pressione, e minime contrazioni. Una vescica spastica presenta un volume normale o ridotto, alta pressione e contrazioni involontarie. Se presente, la pressione della vescica cronicamente elevata (> 40 cm H₂O) causa spesso un danno renale, anche senza infezione o reflusso.

Le manifestazioni frequenti comprendono infezioni delle vie urinarie ricorrenti, ritenzione urinaria e/o incontinenza. L'anomalia neurologica di base è di solito subito evidente. Di solito si misura il volume residuo postmizionale, si esegue un'ecografia renale per rilevare eventuale idronefrosi e si quantifica la creatinina sierica per valutare la funzione renale. Il test urodinamico è spesso fatto per confermare la diagnosi e per monitorare le pressioni e la funzione della vescica. Gli obiettivi della gestione comprendono: ridurre il rischio di infezione, il mantenimento di adeguati pressione e volume di riempimento della vescica, efficace svuotamento della vescica, e raggiungimento di una continenza sociale. Il trattamento della vescica neurologica comprende farmaci (p. es., anticolinergici, antibiotici profilattici), cateterizzazione intermittente e/o interventi chirurgici (p. es., cistoplastica d'aumento, appendicovesicostomia, iniezioni di tossina botulinica, neurostimolazione). I bambini con vescica neurologica spesso hanno anche un intestino neurogeno con costipazione e incontinenza fecale che richiedono anche una corretta gestione.

Cistouretrografia minzionale: Tecnica d'esecuzione

Per una buona riuscita dell'esame, informare ed istruire gli accompagnatori preventivamente. L'infermiere procede quindi alla cateterizzazione della vescica, servendosi di un gel lubrificante per ridurre il fastidio. Dopo aver inserito il catetere e prima di instillare contrasto, la vescica va vuotata. Successivamente si acquisisce un'immagine panoramica, anche solo fluoroscopica, dell'addome prima di instillare il contrasto, così da evidenziare eventuali calcoli, calcificazioni o anomalie scheletriche. Il mezzo di contrasto iodato viene instillato in una sacca sterile posizionata al di sopra del tavolo radiologico, in modo che si distribuisca nella vescica per gravità; nei pazienti appena operati è utile diminuire l'altezza del contrasto per ridurre la pressione sulle pareti degli organi. La vescica dovrebbe essere studiata all'inizio a scarso riempimento così da valutare immagini minoritarie, quali l'ureterocele, che potrebbero essere mascherate da un incompleto riempimento vescicale. La fase intermedia di riempimento potrebbe anche non essere documentata. A pieno riempimento la vescica va studiata anche in proiezione obliqua. Quindi valutare la capacità vescicale massima e quella attesa per l'età moltiplicando l'età del paziente più 2, per 30. Nel caso di reflusso questo va documentato e classificato in base al grado di opacizzazione renale in proiezione frontale. La fase minzionale va studiata nel maschio in proiezione obliqua di 45° e nella femmina in proiezione frontale. L'uretra va valutata in fase minzionale sia con che senza ca-

tetere. Durante la minzione bisogna valutare anche le logge renali per visualizzare un eventuale reflusso. Non sempre i bambini riescono ad urinare appena gli viene chiesto: in quel caso possono urinare nel bagno adiacente alla diagnostica e si valuta successivamente lo svuotamento vescicale o la presenza di residuo postminzionale, comprese le logge renali per valutare l'opacizzazione calico-pielica postreflusso e la clearance di contrasto negli ureteri. Lo studio dovrebbe valutare:

- Aspetto delle vertebre e del bacino;
- Eventuali calcoli, calcificazioni;
- Contorni della vescia, localizzazione, capacità, residuo postminzionale;
- Difetti di riempimento vescicali
- Presenza o assenza di reflusso, grado e quando si presenta
- Reflusso intrarenale
- Morfologia
- Eventuali fistole.

Caratteristiche tecniche

Posizione del paziente: fase di riempimento in posizione supina per le femmine, in posizione obliqua per i maschi.

Dispositivo radiografico: utilizzo quasi esclusivo di fluoroscopia, meglio se pulsata

Macchia focale: 0,6

Griglia antidiffusione: $r = 8, 40/\text{cm}$, assente per bambini con età inferiore ai 6 mesi

kV e mA: 65-90 kV (120kV per bambini più grandi) e utilizzo del dispositivo di esposizione automatica (AEC) per i mA

Tempo di esposizione: inferiore a 20 msec

Schermatura protettiva: protezioni piombate testicolo per pazienti di sesso maschile

Esofagogramma e tubo digerente prime vie

L'esame consiste nello studio dell'esofago, dello stomaco, della prima parte del piccolo intestino (duodeno) e della pervietà del tenue e colon. L'instaurazione di una differenza di attenuazione dei raggi X è possibile grazie al mezzo di contrasto, che consente di riempire il lume e di distendere le pareti dei diversi segmenti creando, appunto, un contrasto artificiale. Il mezzo di contrasto principe è rappresentato dal solfato di Bario, introdotto in sospensione più o meno liquida, in grado di fornire il calco radiopaco del lume dei vari segmenti:

- è dotato, infatti, di intensa radiopacità
- si tratta di un materiale inerte, che non viene né assorbito né metabolizzato dall'organismo
- si può usare solo per gli esami del canale alimentare, dal quale viene eliminato per svuotamento naturale

Negli ultimi tempi, a questo contrasto opaco si è aggiunto anche un contrasto trasparente (miscela gassosa), introdotta successivamente all'ingestione del liquido opaco.

Le tecniche di studio delle vie digerenti si possono, pertanto, suddividere in:

- Tecniche a contrasto singolo (solo con Bario)
- Tecniche a doppio contrasto (Bario e miscela gassosa)

In casi particolari si può sostituire il contrasto baritato con un contrasto radiopaco iodato idrosolubile, qualora vi sia il sospetto che il mezzo di contrasto possa fuoriuscire dal lume enterico (fistole, perforazioni...). Il bario, infatti, qualora esca dal canale alimentare, non viene più eliminato e può condurre alla formazione di granulomi da corpo estraneo a distanza di tempo. Il mezzo di contrasto, comunque, deve essere proposto al paziente con una modalità consona all'età: nei neonati è bene utilizzare il biberon fornito dai genitori, mentre nei bambini più grandi si può ricorrere alla cannuccia o al bicchiere. Utile l'aggiunta di zucchero alla soluzione baritata così da rendere tutto più appetibile.

Esofagogramma e tubo digerente prime vie: riferimenti anatomici e difetti congeniti

L'esofago è un organo muscolo-membranoso, tubulare, di circa 25-26 cm di lunghezza e 2-3 cm di diametro, che congiunge il faringe allo stomaco. Esso è diviso in tre porzioni: cervicale, toracica ed addominale: La porzione cervicale, lunga circa 5 cm, ha origine dal faringe (*ostio o bocca esofagea di Killian*), all'altezza di C6, e si estende fino all'incisura sternale (corpo di D1). La porzione toracica, lunga circa 20 cm, occupa il mediastino posteriore e termina a livello di D9-D10 con una dilatazione segmentaria detta «ampolla epifrenica». L'organo decorre al davanti dei corpi vertebrali, il dotto toracico, le vene azygos ed emiazygos e l'aorta toracica nel suo segmento medio ed inferiore; anteriormente prende rapporti con la trachea, l'arco aortico, la radice del bronco sinistro e con l'atrio sinistro del cuore; lateralmente assume stretti rapporti con le pleure parietali mediastiniche. La porzione addomina-

le, lunga 2-3 cm, è situata a sinistra della linea mediana in un piano anteriore rispetto all'aorta e dopo un breve percorso in basso e verso sinistra sbocca nel fondo dello stomaco attraverso il *cardias*, descrivendo un angolo acuto con la parete gastrica (*angolo esofago-gastrico di His*). L'esofago presenta nel suo percorso vari restringimenti o segni di impronta: un primo restringimento si trova all'origine, *bocca di Killian*. Nel tratto toracico, sul versante antero-sinistro, riceve l'impronta dell'arco aortico che lo restringe parzialmente ed un po' lo disloca verso destra e posteriormente. Qualche cm al di sotto, sempre sul versante sinistro, il bronco principale sinistro lascia una dolce incisura (entrambe le impronte sono ben evidenti nella proiezione OAD ed anche nella proiezione AP). Sempre nel tratto toracico, al 1/3 inferiore, l'esofago riceve un'impronta ad ampio raggio dal davanti, da parte dell'atrio sinistro, riconoscibile nelle proiezioni LL ed OAD. Un ultimo restringimento è quello del *cardias* che sbocca nello stomaco. L'arrivo del bolo in ipofaringe determina l'apertura dell'ostio di Killian e la comparsa di un'onda (*peristalsi*) primaria propulsiva, che si arresta a ridosso del diaframma. Tale onda è di tipo circolare e conduce il bolo lungo l'esofago fino allo stomaco, in un tempo variabile di qualche secondo. E' condizionata dal decubito del paziente, dalla consistenza del bolo e dal susseguirsi degli atti deglutitori. Spesso è completata da onde secondarie e terziarie. Le *onde secondarie* sono contrazioni dovute alla distensione locale dell'esofago ed all'aumentata pressione prodotta dal bolo alimentare; si apprezzano prevalentemente in decubito supino, nascono spesso a livello dell'arco aortico e si propagano similmente alla peristalsi primaria, rafforzandola. Le *onde terziarie* sono contrazioni irregolari, non peristaltiche, che si apprezzano prevalentemente in decubito supino, a livello del terzo inferiore; non hanno funzione di trasporto del bolo e si esprimono in forma di contrazioni o vibrazioni di varie gradazioni, talora ad anello completo o parziale.

Il faringe è un organo muscolo-membranoso situato al davanti del rachide cervicale, al di dietro della cavità nasale, al di sotto della base del cranio e al di sopra dell'esofago. Il suo limite superiore si trova a livello della base del cranio e quello inferiore all'altezza delle vertebre cervicali C6-C7. Di circa 12-14cm di lunghezza, esso si divide in tre segmenti: uno superiore, rinofaringe o nasofaringe, si estende dalla base cranica (apofisi basilare dell'occipitale) alla base del palato molle e dell'ugola (corrispondente all'arco anteriore dell'atlante ed a parte del dente dell'epistrotrofeo). Presenta una *parete anteriore* costituita dalle coane che lo mettono in comunicazione con le cavità nasali; una parete posteriore contenente la tonsilla faringea e due *pareti laterali* in cui trovano sbocco gli orifizi delle tube uditive (di Eustachio), delimitati posteriormente dalla plica salpingo-faringea. Uno medio, orofaringe, si estende dal margine libero del velopendolo fino all'osso ioide. Presenta una *parete anteriore* costituita dalla base della lingua cui seguono le vallecole, due insenature a nido di rondine divise medialmente dalla plica glosso-epiglottica e, posteriormente a questa, dall'epiglottide. L'ultimo segmento inferiore, chiamato ipofaringe o laringofaringe, compreso tra l'osso ioide ed il margine inferiore della cartilagine cricoidea. Riveste posteriormente e lateralmente la laringe, assumendo in sezione assiale una forma semilunare concava in avanti, e delimitando con questa i seni piriformi, al di sotto della glottide e della plica ariepiglottica. Tramite l'ostio o bocca esofagea del Killian si continua nell'esofago. Il faringe è caratterizzato dalla deglutizione che viene distinta di due fasi: la prima, volontaria, in cui la lingua spinge l'ingesto alimentare nell'orofaringe, mentre l'ugola, innalzandosi, evita che risalga

verso le fosse nasali e l'epiglottide, occludendo l'aditus laringeo, che penetri nelle vie aeree. La seconda, involontaria, in cui il bolo alimentare scende e la muscolatura parietale faringea sospende il bolo oltre la bocca esofagea.

Difetti congeniti delle prime vie dell'apparato digerente

Un difetto congenito può colpire qualsiasi parte del tratto digerente, in questo paragrafo saranno prese in considerazione solo le anomalie delle prime vie: esofago, stomaco e prima parte dell'intestino tenue. Gli organi digerenti possono essere incompleti o mal posizionati, con conseguente rischio di occlusioni, oppure i muscoli o i nervi del tratto digerente possono presentare delle anomalie. I sintomi dipendono dalla sede del difetto, ma possono includere crampi e gonfiore addominale e vomito, mentre la diagnosi di solito si basa su esami di diagnostica per immagini e di altro tipo. I difetti congeniti includono: l'anello esofageo inferiore, l'atresia esofagea, l'ostruzione duodenale e la membrana diaframma/esofagea.

Anello esofageo inferiore

Un anello esofageo inferiore (Fig. 1) è una sub-stenosi mucosa di 2-4 mm che provoca un restringimento anulare a carico dell'esofago distale in corrispondenza della giunzione squamocolonnare che spesso provoca disfagia. L'eziologia degli anelli esofagei inferiori è controversa; le teorie principali sostengono che siano congeniti, o causati dal reflusso acido o da un'esofagite pillola-indotta.

Questi anelli causano disfagia intermittente per i solidi. I sintomi possono iniziare a qualsiasi età, ma generalmente non si manifestano prima dei 25 anni. La difficoltà a deglutire è intermittente ed è particolarmente aggravata dalla carne e dal pane secco. I sintomi di solito si verificano solo quando il lume esofageo è minore di 12 mm di diametro e mai quando è maggiore di 20 mm.

Tipicamente, la valutazione della disfagia inizia con endoscopia superiore, che deve mostrare un anello abbastanza grande da causare sintomi. Se l'esofago distale viene adeguatamente disteso, un RX tubo digerente con bario di solito riesce anche a evidenziare l'anello.

Di solito, l'unica terapia necessaria nel caso degli anelli più ampi è la raccomandazione al paziente di masticare completamente il cibo, mentre gli anelli che restringono maggiormente il lume richiedono tecniche di dilatazione endoscopica. La resezione chirurgica è raramente necessaria.



Fig. 1 Anello esofageo inferiore

Atresia esofagea

L'atresia esofagea è un'incompleta formazione dell'esofago, frequentemente associata a fistola tracheo-esofagea. La diagnosi va considerata in caso di impossibilità a far passare il sondino nasogastrico o orogastrico. La terapia consiste nella riparazione chirurgica. L'atresia esofagea è l'atresia gastrointestinale più diffusa. L'incidenza stimata è di 1/3500 nati vivi. Altre malformazioni congenite sono presenti fino al 50% dei casi. Esistono 5 tipi di atresia esofagea (Fig. 2): atresia con fistola distale tipo III (86%), atresia esofagea isolata tipo I (7%), atresia con fistola doppia tipo IV (1%), fistola tracheo-esofagea isolata tipo V (4%), fistola prossimale tipo II (2%). La maggior parte dei lattanti manifesta la patologia durante il periodo neonatale, ma i lattanti con la fistola di tipo V possono non presentare sintomi fino ad epoche più tardive.

I segni caratteristici sono secrezioni eccessive, tosse e cianosi conseguente a ripetuti tentativi di alimentazione orale, polmonite ab ingestis. L'atresia esofagea con fistola distale comporta gonfiore addominale poiché non appena il neonato piange, l'aria dalla trachea è spinta attraverso la fistola nell'esofago inferiore e nello stomaco.

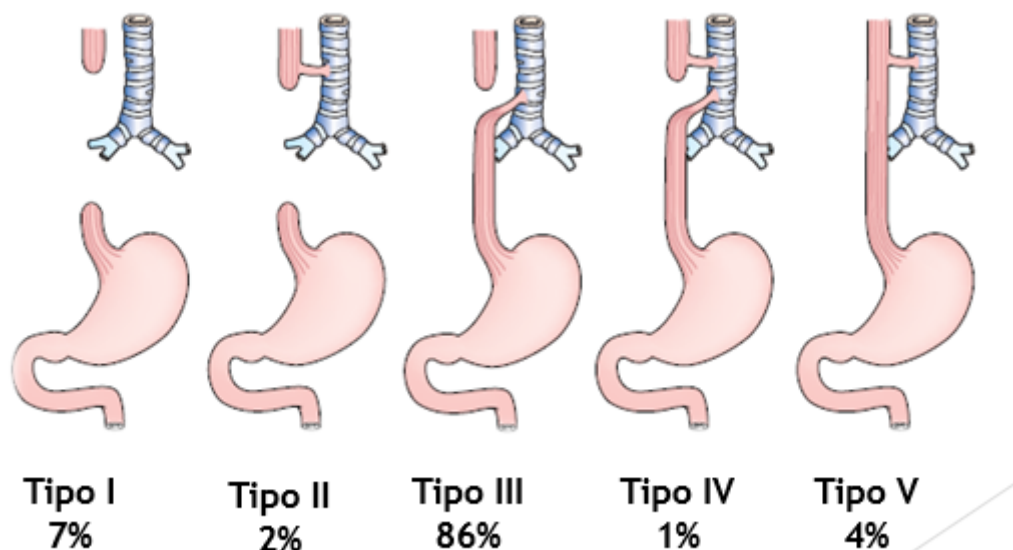


Fig. 2 Tipi di atresia esofagea

Atresia duodenale

Questa anomalia rappresenta la terza atresia più frequente dell'apparato gastrointestinale. L'incidenza stimata è di 1/5000-1/10 000 nati vivi. L'atresia duodenale è dovuta alla mancata canalizzazione del duodeno embrionario. Questo errore può essere correlato ad un evento ischemico o a fattori genetici.

L'atresia duodenale, a differenza di altre atresie intestinali, è comunemente associata ad altre anomalie congenite come la Sindrome di Down, che è presente dal 25 al 40% dei casi. La diagnosi di atresia duodenale può essere sospettata in epoca prenatale in presenza di intestino dilatato, ascite, o in caso di combinazione dei disturbi citati.

Nel periodo post natale, i neonati con atresia duodenale presentano difficoltà di alimentazione e vomito che può essere biliare. La diagnosi è suggerita dai sintomi e dal riscontro RX della classica "doppia bolla", una bolla nello stomaco e l'altra in prossimità del duodeno; nell'intestino distale l'aria è scarsa o assente. Sebbene una serie di indagini radiologiche sul tratto gastrointestinale superiore fornisca una diagnosi definitiva, deve essere effettuata con attenzione da un radiologo esperto che esegua questa procedura sui bambini al fine di evitare l'aspirazione ed in genere non è necessario se l'intervento chirurgico sta per essere eseguito immediatamente. Se la chirurgia deve essere ritardata (p. es., a causa di altri problemi medici, come la sindrome da distress respiratorio, necessità di essere stabilizzati), un clistere di contrasto deve essere eseguito per confermare che il segno della doppia bolla non è dovuto a malrotazione. Una volta sospettata la patologia, il neonato non deve più assumere nulla per bocca, e si deve posizionare un sondino nasogastrico per decomprimere lo stomaco. La chirurgia è la terapia definitiva.

Membrana diaframma/esofagea

Una membrana esofagea è una sottile membrana di mucosa che si sviluppa nel lume e può causare disfagia. Raramente, tali diaframmi si sviluppano in pazienti con grave anemia sideropenica non trattata; ancora più raramente si sviluppano in pazienti che non soffrono di anemia. Le membrane solitamente sono localizzate nell'esofago superiore, determinando disfagia per i solidi. Vengono meglio diagnosticati con l'RX del tubo digerente. I diaframmi scompaiono con il trattamento dell'anemia, ma possono anche essere rimossi facilmente in corso di esofagoscopia.

Esofagogramma e tubo digerente prime vie: tecnica d'esecuzione

Preparazione del paziente

Digiuno minimo di 2 ore in relazione all'età del paziente: sono sufficienti 2-3 ore di digiuno per i neonati, 4 ore per i bambini più grandi, mentre l'adolescente ha bisogno di 6-8 ore di digiuno.

Esofago: immagini preliminari

A seconda del quesito clinico potrebbe essere utile eseguire una immagine preliminare radiografica, o meglio, una panoramica radioscopica utile a evidenziare eventuali calcificazioni, situs anomali, livelli idroaerei e la presenza di cateteri e devices. Specie nei neonati, una proiezione tangenziale è utile per evidenziare un'eventuale ostruzione intestinale, che andrebbe a determinare l'impossibilità di esecuzione dell'esame.

L'esofago non è visibile, eccetto in alcune condizioni patologiche, quali la sclerodermia ed il mega-esofago acalastico:

- nella *sclerodermia*, le pareti del viscere non sono collabite e l'esofago contiene aria;
- nell'*acalasia*, l'esofago è dilatato perché contiene ingesti e liquidi.

In questi casi è visibile un'immagine nastriforme di radiotrasparenza che nei radiogrammi AP deborda dalle linee mediastiniche ed in LL appare in sede prevertebrale.

Esofago: metodologia di studio

Il metodo e le tecniche di studio contrastografiche dell'esofago prevedono l'uso:

- della *fluoroscopia*, per una valutazione morfologica e dinamica dell'organo e per la definizione della correttezza delle proiezioni standard;
- di *proiezioni standard*, che in genere vanno documentate con una proiezione in Antero-Posteriore e una in Latero-Laterale di tutte le parti anatomiche, compresa una proiezione obliqua;
- di *radiografie mirate*, poco codificabili e condizionate dalla focalizzazione sintomatologica e dal particolare caso clinico.

Si distinguono due modi di contrastare l'esofago:

- esame a contrasto singolo: in cui i pazienti collaboranti vengono posti in piedi, in proiezione obliqua con la mano prossima al tavolo radiologico che regge il bicchiere di contrasto e l'altra appoggiata sulla testa. In tale posizione obliqua è possibile documentare tutto l'esofago, dal nasofaringe alla giunzione esofago-gastrica, così come la fase deglutitoria. Neonati e pazienti poco collaboranti assumeranno il contrasto in clinostatismo, sempre in posizione obliqua: in tal caso gli accompagnatori reggeranno il biberon mantenendo gli arti dell'infante al di sopra della testa e al di fuori del campo di vista per evitare la sovrapposizione con l'esofago;
- esame a doppio contrasto: raramente si esegue in pediatria. Può diventare utile per lo studio della mucosa esofagea.

Stomaco: metodologia di studio

Dopo avere eseguito l'esofagogramma, si passa allo studio della morfologia gastrica e della giunzione esofago-gastrica. Lo studio dello stomaco va fatto sia in orto che in clinostatismo in proiezione antero-posteriore e latero-laterale: nel neonato si osserva frequentemente uno stomaco spostato di 180 gradi, con fondo ripiegato e perdita della normale forma a "C". Si passa quindi allo studio del duodeno e, prima che si riempiano di contrasto le prime anse digiunali, si deve documentare la corretta posizione dell'angolo di Treitz sia in proiezione antero-posteriore che in latero-laterale. Nei bambini, soprattutto nei neonati, è importante lo studio di morfologia e pervietà del piloro, in decubito prono per raggiungere un dettaglio iconografico maggiore. Lo studio per l'ernia jatale gastrica, possibile solo nei bambini collaboranti, si esegue a paziente prono con un fianco leggermente sollevato, il braccio dalla parte del fianco sollevato regge il bicchiere di contrasto, l'altro rimane proteso in avanti. Il paziente fa alcuni sorsi di contrasto, durante i quali viene documentata la giunzione esofago-gastrica e l'eventuale presenza di ernia jatale. Lo studio per il reflusso gastroesofageo si esegue osservando, con scopia pulsata per circa 10 minuti, la giunzione esofa-

go-gastrica: si considera patologico un reflusso superiore a 3 episodi ogni 10 minuti. Valutare il reflusso, il livello a cui arriva e se si associa ad aspirazione nelle prime vie respiratorie.

Lo studio delle prime vie digerenti si conclude misurando il tempo di svuotamento gastrico e la progressione di contrasto nelle vie che devono opacizzarsi al fianco sinistro e, successivamente, con il passaggio di contrasto nelle anse ileali, a destra. Può essere indice di malrotazione l'opacizzazione delle anse digiunali al fianco destro.

CAPITOLO 2

RADIOSENSIBILITA': DIFFERENZE FRA ADULTI E BAMBINI

La radiosensibilità viene definita come la suscettibilità di tessuti normali o patologici a subire l'azione delle radiazioni α , β , γ e X. Essa dipende dalla dose assoluta di radiazioni somministrata, dall'intensità della radiazione (dose in funzione del tempo di irradiazione) e dalle modalità specifiche di ricambio cellulare dei singoli tessuti. Ad esempio, tessuti di organi sottoposti a continuo rinnovamento cellulare, come le gonadi, presentano una radiosensibilità più elevata rispetto a tessuti meno coinvolti dal processo di divisione cellulare, come tessuti muscolari e nervosi.

I bambini sono soggetti in rapido accrescimento con una maggiore aspettativa di vita, per questo motivo si ritiene comunemente che i pazienti pediatrici possano essere due o tre volte più sensibili alle radiazioni rispetto agli adulti. Secondo gli ultimi risultati del Comitato scientifico delle Nazioni Unite sugli effetti delle radiazioni ionizzanti (UNSCEAR), la percezione generale in cui i bambini sono più vulnerabili all'esposizione alle radiazioni rispetto agli adulti è vera solo in parte. Mentre ci sono chiari casi di aumento del rischio di induzione da radiazioni di alcuni tumori per i bambini, rispetto agli adulti, i bambini in realtà hanno un rischio inferiore o un rischio equivalente per altri tipi. Ci sono esempi simili riguardanti anche effetti deterministici.

UNSCEAR evidenzia che in qualsiasi discussione sugli effetti dell'esposizione alle radiazioni, le generalizzazioni vanno evitate e l'attenzione dovrebbe essere diretta ai dettagli dell'esposizione, all'età e alla dose assorbita in determinati tessuti. Il termine "sensibilità alle radiazioni" in relazione all'induzione del cancro, si riferisce alla capacità di induzione del tumore e non si riferisce al grado di malignità.

In generale:

- La leucemia, il cancro alla tiroide, alla pelle, al seno e al cervello, rappresentano circa il 25% dei tumori totali. In questo caso i bambini presentano una maggiore radiosensibilità rispetto agli adulti;
- Nel cancro della vescica (circa il 15% dei tipi di tumore), i bambini sembrano avere lo stessa radiosensibilità per l'induzione del tumore rispetto agli adulti;
- Nel Carcinoma polmonare (10% circa), i bambini appaiono meno sensibili all'esposizione esterna alle radiazioni rispetto agli adulti;
- Nel 20% dei tipi di tumore (incluso il cancro dell'esofago), i dati sono troppo pochi per avere una statistica affidabile;
- Nel linfoma di Hodgkin's, nel cancro della prostata e nel cancro del retto e dell'utero (30%), esiste solo una relazione debole o assente tra esposizione alle radiazioni e rischio a qualsiasi età di esposizione.

Differenze fra adulti e bambini: effetti deterministici

Questi effetti possono essere osservati dopo una radioterapia o dopo un'esposizione accidentale. La sensibilità alle radiazioni dei bambini rispetto agli adulti per effetti deterministici in uno specifico organo è spesso diversa da quella per l'induzione del tumore: ci sono alcuni casi in cui l'esposizione durante l'infanzia comporta un rischio maggiore rispetto all'esposizione adulta (ad es. per difetti cognitivi, cataratta e noduli tiroidei), in altri casi il rischio sembra essere più o meno lo stesso (ad es. neuroendocrino e renale) e ci sono pochi casi in cui il tessuto di un bambino è più resistente (ad es. funzione polmonare, sistema immunitario, midollo e insufficienza ovarica).

Ci sono stati molti studi sull'uomo sui possibili effetti ereditabili in seguito all'esposizione alle radiazioni. Questi studi hanno portato alla conclusione che nessun effetto ereditario nell'uomo dovuto all'esposizione alle radiazioni è stato definitivamente identificato (in particolare sui bambini sopravvissuti della bomba atomica). Nell'ultimo decennio, ci sono stati ulteriori studi che si sono concentrati sui sopravvissuti al cancro dell'infanzia e dell'adolescenza, ma non ci sono praticamente prove di un aumento dell'instabilità cromosomica, dell'instabilità genomica transgenerazionale e delle anomalie congenite o rischio di cancro per i bambini esposti alle radiazioni.

Fisiologia e sviluppo anatomico

Lo scopo di questa sezione è di descrivere i principali cambiamenti anatomici e fisiologici umani legati all'età che sono rilevanti per i rischi dovuti all'esposizione alle radiazioni durante l'infanzia. Diversi fattori che variano con l'età, ma principalmente con peso e dimensioni, sono fondamentali nella valutazione di dosi ed effetti. L'attenuazione della radiazione interna ed esterna da parte dei tessuti aumenta con il peso. Ad esempio, la dose assorbita

da una determinata quantità di assunzione di un radionuclide sarà maggiore in un individuo piccolo con masse d'organo più piccole che in un individuo grande.

La dimensione e la crescita degli organi variano significativamente tra i tipi di tessuto e con l'età. La percentuale di crescita raggiunta nel periodo post-natale totale per il tessuto linfoide, ad esempio, è maggiore nella tarda infanzia che rispetto all'età adulta. I tessuti muscoloscheletrici crescono principalmente durante l'infanzia e a inizio adolescenza e le gonadi non maturano fino alla tarda adolescenza. Gli organi possono essere divisi in quattro principali modelli di crescita postnatale: generale (la maggior parte dei tessuti), neurale, linfoide e riproduttiva. Alcuni tessuti cambiano marcatamente nella loro distribuzione all'interno del corpo con l'invecchiamento di una persona, ad es. cambiamenti della distribuzione del midollo osseo all'interno dell'osso.

Le principali differenze anatomiche e fisiologiche fra adulti e bambini sono:

- Dimensioni corporee: il periodo di crescita è lungo se comparato agli altri mammiferi, e occupa il 25% della vita. Accrescimento rapido nei primi 16-18 anni, poi rallenta ma aumenta la massa corporea
- Proporzioni del corpo: testa e cervello sono sproporzionatamente grandi alla nascita. Il tronco rappresenta 1/3 del corpo in tutte le età
- Tratto alimentare: passaggio dalla dieta liquida a quella strutturata all'età di 6 mesi. Il latte è un componente importante della dieta. Aumento del tempo di transito del materiale nel colon con l'aumentare dell'età. L'assorbimento di alcuni radionuclidi sono maggiori nei neonati che nei bambini e negli adulti
- Tratto respiratorio: significativo aumento del numero di alveoli fino a 2 anni. Dopo questo, c'è un aumento in dimensioni alveolari. Aumento di 20 volte dell'interfaccia aria-tessuto tra la nascita e l'età adulta
- Cervello: Comprende il 10% del peso del bambino e il 2% in un adulto. I diametri degli assoni e la mielina crescono significativamente nei primi 2 anni, ma la loro crescita non è completa fino all'età adulta. La materia grigia raggiunge il picco a 1 anno di età e rimane alta fino a 7 anni e quindi diminuisce del 40% all'età di 16 anni
- Scheletro e cartilagine: la crescita ossea si verifica soprattutto alle estremità delle ossa lunghe(epifisi). L'epifisi si fonde durante la pubertà. C'è più vascolarizzazione e rimodellamento dell'osso nell'infanzia. Una percentuale molto maggiore dello scheletro è occupata da cartilagine piuttosto che da osso in giovane età
- Reni e vescica: numero massimo di glomeruli presenti alla nascita. L'ipertrofia può verificarsi a seguito della crescita di tubuli renali. La vescica si sposta dalla posizione addominale al bacino durante l'infanzia

- Testicoli: prima dei 12 anni, il testicolo è piccolo, aumentando di volume di oltre cinque volte durante la pubertà
- Ovaie e utero: Il numero di follicoli primordiali raggiunge il picco poco dopo la nascita. Il tasso di reclutamento di follicoli maturi aumenta dalla nascita all'età di 14 anni e poi diminuisce con l'età. Rapida crescita delle dimensioni delle ovaie con la pubertà. Il volume uterino è inferiore a 3 ml prima degli 8 anni e aumenta a 15-20 ml entro i 13 anni
- Tiroide: Rapido aumento dell'ormone stimolante la tiroide dopo la nascita, scendendo a livelli normali in circa 5 giorni. L'assunzione di iodio è sostanzialmente simile a quella di un adulto. TSH, T3 e T4 sono più alti nel primo anno di vita e diminuiscono lentamente di circa il 20–40% entro la tarda adolescenza
- Ormone della crescita: i livelli di ormone della crescita aumentano fino alla pubertà, aumentando il peso corporeo
- Ormoni riproduttivi: La pubertà inizia dall'ipotalamo che rilascia l'ormone stimolante le gonadi gonadotropina, ormone luteinizzante e ormone follicolo-stimolante

Aspetti dosimetrici legati all'uso medico delle radiazioni

L'esposizione medica rappresenta la seconda più grande fonte di esposizione alle radiazioni ionizzanti nella popolazione mondiale (dopo quella naturale). Anche se c'è una certa variazione tra i paesi, circa il 3-10% delle procedure diagnostiche viene eseguito sui bambini. Gli esami radiologici eseguiti maggiormente sono radiografie del capo, dell'addome e delle estremità. Le procedure interventistiche guidate fluoroscopicamente sono quelle che erogano dosi maggiori fra gli esami di radiologia "convenzionale". La dose ricevuta durante gli esami medici dipende dal tipo di esame, dall'attrezzatura utilizzata, dai parametri impostati sulla macchina (kV, mA, tempo, frames), dalle dimensioni del paziente e tipo di malattia. Monitorare la dose emessa durante un esame risulta di fondamentale importanza per fare un confronto con i livelli di riferimento (LDR), così da sapere se quella dose, per quella procedura specificata, è insolitamente alta o bassa. Va detto che la dose è indicata in termini di kerma in aria in relazione a fantocci standard. Al fine di valutare la dose vera correlata al paziente, come la dose in organo e la dose efficace, devono essere applicati adeguati fattori di conversione, in cui vengono prese in considerazione le differenze nelle dimensioni del paziente e nella posizione degli organi fra pazienti adulti e pediatrici. La dose agli organi che non sono completamente coperti dal fascio X, potrebbe discostarsi dai valori calcolati.

Radiografia

In radiologia convenzionale, il descrittore di dose più comunemente utilizzato è il prodotto del kerma in aria per l'area coperta dal fascio di raggi X (KAP). Il KAP è la media del kerma in aria (in Gy) moltiplicata per l'area della sezione trasversale del fascio di raggi X corrispondente (in cm²), il cui prodotto è espresso in Gy per cm² (Fig. 3). Risulta importante sottolineare che il KAP fornisce un'indicazione della quantità totale di radiazioni utilizzate in un esame e non tiene conto della radiosensibilità della zona interessata. Ad esempio, una radiazione incidente sulle estremità corporee, comporterà una dose agli organi e un rischio molto più bassi rispetto alla stessa quantità di radiazione incidente sul corpo, perché quest'ultimo contiene molti più organi e tessuti radiosensibili. Quando il KAP è combinato con informazioni sulla qualità del raggio (potere di penetrazione del raggio) e sulle caratteristiche fisiche del paziente esposto, le dosi agli organi e i rischi legati alle radiazioni del paziente possono essere stimati prendendo in considerazione la regione del corpo e le proiezioni utilizzate per generare le immagini.

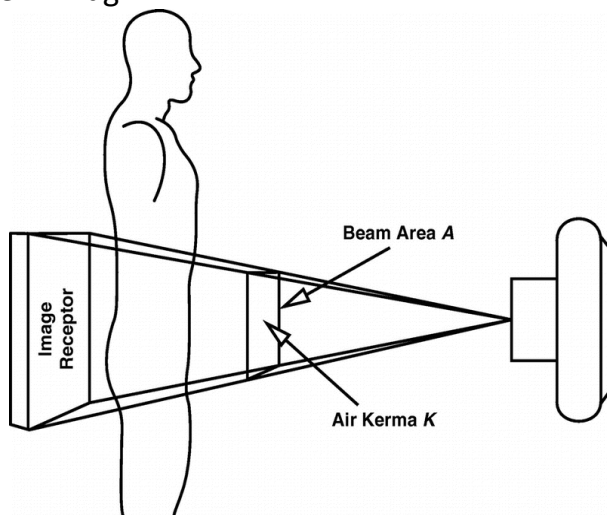


Fig. 3: La figura mostra il fascio incidente con il kerma medio in aria, l'area del fascio e il corrispondente prodotto di K per A. Il valore di K viene misurato in aria, quindi senza considerare il backscatter. Il KAP risulta, quindi, indipendente dalla posizione della misurazione.

La Tab. 1 racchiude gli LDR per gli esami più frequentemente svolti all'interno delle diagnostiche, e illustra i livelli di dose tipici della radiografia pediatrica. Una misurazione di dose locale, ovvero il kerma incidente in aria (IAK) o dose in entrata in superficie (ESD), che includa la radiazione di backscatter, richiede l'utilizzo di dosimetri termoluminescenti posizionati sulla superficie del corpo.

Tab. 1 Comparazione degli LDR Europei per la radiologia pediatrica

Esami	Eta` (Anni)	Europa	Gran Bretagna	Austria	Germania
		ESD (mGy)			KAP (Gy per cm ²)
Addome	0			0,10	
	1	0,70	0,40	0,17	0,04
	5	1,00	0,50	0,51	0,11
	10		0,80	0,97	0,36
	15		1,20		
Torace PA-AP	0	0,08	0,05	0,06	0,02
	1	0,14	0,05	0,07	0,02
	5	0,10	0,07	0,08	0,03
	10		0,12	0,11	0,04
	15			0,11	0,07
Cranio PA-AP	0			0,38	
	1	1,69	0,80	0,69	0,10
	5	1,54	1,10	0,88	0,19
	10		1,10	1,00	0,31
	15		1,10	1,12	0,37
Cranio LAT	0			0,29	0,08
	1		0,50	0,70	0,23
	5	1,08	0,80	0,51	0,20
	10		0,80	0,56	0,25
	15		0,80	0,68	0,33

La stima approssimativa della dose efficace (E) può essere fatta moltiplicando il KAP con un fattore di conversione appropriato k:

$$E = KAP \times k$$

Il fattore di conversione deve almeno tenere conto delle differenze nella sensibilità alle radiazioni tra differenti regioni del corpo (testa, collo, addome, torace, bacino ed arti) e anche per dimensioni o età (adulti, bambini di età diversa). Un esempio di fattori di conversione per tre comuni esami (torace, addome e bacino/anche) è mostrato nella tabella 2. A seconda delle dimensioni del paziente, i fattori di conversione variano di un ordine di grandezza, con i valori più alti per il neonato.

Tab. 2 Valori del "fattore k" in relazione al prodotto kerma-area per il calcolo della dose efficace al bambino e all'adulto. Adattato utilizzando la Pubblicazione ICRP 60 per la stima della dose efficace; la filtrazione totale del fascio utilizzata è di 3 mm Al

Tab. 2 Fattori k per calcolo dose efficace

Esami	Fattori k					
	Neonati	1 anno	5 anni	10 anni	15 anni	Adulti
Torace PA						
Voltage (kV)	70 [^]	73	75	80	80	86
K (msV/Gy cm ²)	2,2 [^]	0,58	0,41	0,28	0,16	0,15
Addome AP						
Voltage (kV)	60	60	80	80	85	75
K (msV/Gy cm ²)	2	0,91	0,64	0,4	0,28	0,2
Pelvi/Anche AP						
Voltage (kV)	60	60	70	75	80	71
K (msV/Gy cm ²)	2,2	1,1	0,6	0,28	0,21	0,22

[^] AP: antero-posteriore

Ai fini della stima della dose efficace, questo metodo rapido ha due principali svantaggi: (A) poiché il KAP si basa su IAK, i fattori di conversione dipendono fortemente dalla qualità del fascio, ovvero sulle differenze nelle impostazioni della tensione del tubo e sulla filtrazione del fascio totale; (B) esistono molte combinazioni delle unità di dose e area (Gy cm², dGy cm², cGy cm², mGy cm²), che possono facilmente portare a errori negli ordini di grandezza. La valutazione della dose agli organi richiede tabelle con fattori di conversione per vari tipi di esami, diverse combinazioni di tensione del tubo e filtraggio del fascio totale e diverse fasce di età. Per calcolare la dose in organo Ht, ESD o IAK devono essere moltiplicati per l'appropriato fattore di conversione kt:

$$Ht = ESD \times kt \text{ oppure } Ht = IAK \times kt$$

Alcuni dei valori input di dose sono in correlazione:

$$ESD = IAK \times BSF \text{ o } IAK = KAP/A(FID/FSD)^2$$

con BSF = fattore di retrodiffusione (backscatter), FSD = distanza fuoco-oggetto, FID = distanza fuoco-film e A = dimensione del campo irradiato sul recettore d'immagine.

Fluoroscopia

Come già detto in precedenza, in radiologia convenzionale, il descrittore più comunemente utilizzato per il monitoraggio della dose è il KAP, che rappresenta la dose integrale. Nella tabella 3 sono illustrati i valori di dose tipici della fluoroscopia pediatrica per tre comuni esami fluoroscopici. Comunque, a causa dello sviluppo tecnico degli ultimi anni (scopia pulsata), i valori di KAP riportati nella tabella 3 possono ora essere molto più bassi. Poiché i livelli di dose in fluoroscopia sono significativamente più alti di quelli della semplice radiografia, in particolare durante le procedure interventistiche, anche lo studio della dose locale è importante per prevenire lesioni cutanee deterministiche. A tale scopo, un punto di riferimento all'ingresso del paziente è definito da produttore in relazione alla costruzione

meccanica del sistema. Secondo i rilevanti standard IEC (International Electrotechnical Commission), il punto di riferimento interventistico (IRP) si trova dall'isocentro verso il tubo a raggi X per ogni distanza fuoco-film. L'IRP rappresenta la posizione in cui il fascio di raggi X penetra nella superficie del paziente, ma raramente coincide con la reale posizione della cute del paziente. La dose e la dose cumulativa all'IRP sono visualizzate dove l'operatore può vederle durante l'esecuzione della procedura e sono documentati nella relazione d'esame dopo che la procedura è stata completata.

I metodi per la valutazione della dose efficace sono identici a quelli utilizzati in radiografia. Tuttavia, poiché la fluoroscopia è una procedura di imaging dinamico, le condizioni durante l'esame variano (qualità del raggio, dimensione del campo, proiezione del fascio di raggi X, tasso di dose), determinando una complessità maggiore del calcolo di dose.

Tab. 3 Valori di KAP per tre comuni esami fluoroscopici pediatrici

Esami	Eta` (Anni)	KAP per esame (Gy x cm ²)
Cistouretrografia ascendente	0	0,43
	1	0,81
	5	0,94
	10	1,64
	15	3,41
Tubo digerente per basso esofago-stomaco-duodeno	0	0,76
	1	1,61
	5	1,62
	10	3,19
	15	5,67
Tubo digerente per faringe e esofago	0	0,56
	1	1,15
	5	1,01
	10	2,4
	15	3,17

CAPITOLO 3

LDR E NORMATIVA ITALIANA E INTERNAZIONALE (ISTISAN E RP185)

Normativa ISTISAN

La Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio del 5 dicembre 2013 stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom. La suddetta normativa è attualmente in fase di recepimento dagli Stati Membri e la sua versione finale dovrà essere presentata il 6 febbraio 2018. L'Istituto Superiore di Sanità (ISS) è stato fortemente impegnato nella fase di elaborazione della Direttiva 2013/59/Euratom e nella sua fase di recepimento attraverso membri designati come esperti dal Presidente dell'ISS. In particolare per quanto attiene agli aspetti legati alla esposizione a radiazioni in campo medico esiste da molti anni in ISS una *expertise* nell'ambito della Assicurazione di Qualità nelle scienze radiologiche che si è sviluppata negli anni attraverso il coordinamento di Gruppi di Studio per la elaborazione, tra l'altro, di indicazioni per la ottimizzazione della radioprotezione del paziente. Questa expertise si è proposta per dare un supporto scientifico rilevante nella fase di recepimento della Direttiva 2013/59/Euratom per quanto riguarda problematiche relative alla definizione dei Livelli Diagnostici di Riferimento (LDR) in radio diagnostica e in radiologia interventistica. Le procedure di radiologia interventistica stanno significativamente aumentando e migliorando da un punto di vista qualitativo e rappresentano certamente uno degli scenari più critici per quanto attiene alla radioprotezione poiché comportano la necessità di valutazione del rischio in condizioni spesso molto complesse. La radiologia interventistica inizialmente sviluppata dai radiologi, rappresenta oggi una tecnica utilizzata con continuità da molte altre figure mediche nella loro attività clinica tra cui chirurghi vascolari, neuroradiologi, ortopedici, urologi, gastroenterologi, cardiologi.

Per quanto sopra esposto, è certamente obiettivo importante promuovere una opportuna sensibilizzazione "culturale" all'interno delle strutture del Servizio Sanitario Nazionale per ottimizzare e standardizzare le procedure di radiologia interventistica in termini di radioprotezione del paziente e degli operatori. Le presenti indicazioni operative sono state elaborate proprio secondo questa logica, ed hanno visto la partecipazione attiva di tutte le componenti professionali e scientifiche direttamente coinvolte. Abbiamo, pertanto ritenuto estremamente rilevante, in vista della pubblicazione sulla *Gazzetta Ufficiale* del nuovo decreto legislativo che recepisce la Direttiva 2013/59/Euratom, fornire indicazioni a livello na-

zionale (attraverso un documento tecnico), utili nell'uso di uno dei parametri più importanti per la ottimizzazione della radioprotezione del paziente, ovvero gli LDR che potessero servire come documento di riferimento da citare nel decreto legislativo in prossima uscita. Il documento è stato elaborato costituendo un gruppo di lavoro dedicato, all'interno del Gruppo di Studio sulla radiologia interventistica, ed ha visto la collaborazione dell'INAIL (Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro).

Obiettivo

Gli LDR sono stati introdotti dalla *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) nella pubblicazione 73 del 1996 e sono stati riconfermati e definiti nella Direttiva europea 2013/59 Euratom come strumento per l'ottimizzazione della esposizione dei pazienti sottoposti ad indagini diagnostiche con radiazioni ionizzanti.

Gli LDR non si intendono applicabili al singolo paziente e non devono essere utilizzati come limite di dose. Si sono dimostrati in realtà uno strumento essenziale nei processi di ottimizzazione delle esposizioni, individuando quelle pratiche radiologiche che richiedono interventi tecnici e/o metodologici atti a ridurre la dose media ai pazienti sottoposti ad indagine diagnostica in una installazione radiologica. L'importanza degli LDR in radiologia interventistica è sottolineata nell'Appendice B che riporta gli LDR nel *medical imaging* secondo la *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Si sottolinea che, nelle indagini tendenti ad acquisire informazioni dosimetriche sulle diverse procedure radiologiche, bisogna sempre identificare anche quelle procedure che vengono eseguite con dose troppo bassa e tale da non produrre l'informazione clinica richiesta. Le raccomandazioni della ICRP sono state recepite dalla più recente Direttiva europea 2013/59 Euratom (a sua volta in fase di recepimento a livello di normativa italiana con scadenza 6 febbraio 2018) che nelle premesse recita:

“Nel settore medico, importanti sviluppi tecnologici e scientifici hanno determinato un incremento notevole dell'esposizione dei pazienti. A tale riguardo, è opportuno che la presente direttiva evidenzi la necessità di giustificare le esposizioni mediche, compresa l'esposizione di soggetti asintomatici, e rafforzi i requisiti riguardanti le informazioni da fornire ai pazienti, la registrazione e la comunicazione delle dosi dovute alle procedure mediche, l'adozione di livelli di riferimento diagnostici nonché la disponibilità di dispositivi che segnalino la dose.”

All'art. 4 così definisce i livelli diagnostici di riferimento: i livelli di dose nelle pratiche radiodiagnostiche mediche o nelle pratiche di radiologia interventistica o, nel caso dei radiofarmaci, i livelli di attività, per esami tipici per gruppi di pazienti di corporatura standard o fantocci standard per tipi di attrezzatura ampiamente definiti. L'art. 56 rimanda agli Stati Membri la scelta e il periodico aggiornamenti degli LDR per la radiologia diagnostica e, quando appropriato, per la radiologia interventistica. Gli Stati Membri possono fare riferimento agli LDR europei quando disponibili.

La Direttiva europea all'art. 57 richiede infine che quando si ecceda in modo significativo il valore di LDR venga intrapresa una revisione e vengano adottate appropriate azioni correttive della pratica radiologica:

“f) in caso di costante superamento dei livelli diagnostici di riferimento, si proceda ad adeguate verifiche locali e, senza indebito ritardo, a un appropriato intervento correttivo.”

Ai fini della individuazione di un primo elenco di LDR per la pratica radiologica italiana da utilizzare in prima applicazione di cui tenere conto in parallelo al processo di recepimento della Direttiva europea, fatte salve le scelte in materia che saranno operate dal legislatore, l'ISS ha individuato un gruppo di lavoro composto da medici radiologi e di cardiologia interventistica, fisici medici ed esperti dell'ISS per la redazione di un documento tecnico da promulgare come indicazione dell'ISS. Questo documento dovrà essere periodicamente aggiornato al fine di fornire valori di LDR adeguati alla evoluzione della pratica radiologica italiana e utili per il perseguimento degli obiettivi di ottimizzazione delle esposizioni mediche.

Metodo di individuazione degli LDR nazionali

Alcuni studi promossi e condotti da Associazioni scientifiche e professionali e da Istituzioni nazionali, a partire dal 2004, forniscono una base di informazione utile allo scopo di questo lavoro. Gli studi nazionali più importanti, che hanno coinvolto numeri significativi di centri e di procedure radiologiche e che vengono presi in considerazione nella presente pubblicazione sono:

- Indagine AIFM-SIRM (Associazione Italiana di Fisica Medica – Società Italiana Radiologia Medica) per la radiologia diagnostica (2004);
- Indagine AIFM-SIRM per la radiologia diagnostica con Tomografia Computerizzata (TC) nell'adulto e in pediatria (2014);
- Indagine INAIL-Ospedale S. Orsola di Bologna del 2011 per le procedure interventistiche cardiologiche;
- Indagine ISS-Ospedale Santa Maria della Misericordia di Udine del 2013 per le procedure interventistiche di radiologia, neuroradiologia e cardiologia emodinamica e elettrofisiologia;
- Indagine GISE (Società Italiana di Cardiologia Interventistica) sulla cardiologia interventistica condotta nel 2014;

I valori di LDR proposti da questi studi vengono posti a confronto con quelli ottenuti da analoghe indagini condotte principalmente da organismi nazionali di alcuni Paesi europei (per alcune procedure anche da organismi degli Stati Uniti d'America e dell'Australia) quali:

- valori di LDR adottati da 34 Paesi europei nel progetto *DoseDataMed2* (2014) (Annesso 2) (solo i valori di LDR derivanti da specifiche indagini nazionali vengono assunti per il confronto con i dati italiani);
- valori di LDR secondo la *Public Health England* del Regno Unito del 2016 (11);
- valori di LDR adottati in Irlanda nel 2010 (12);

- valori di LDR per la TC adottati nei Paesi Bassi nel 2013 (13);
- valori di LDR per la radiologia interventistica e cardiologica della Federazione Svizzera del 2008.

Per ogni tipologia di esame e procedura, il valore di LDR viene assunto pari a:

- il valore di LDR derivante ottenuto da un'indagine italiana (in presenza di più indagini si assume in via prudenziale il valore maggiore); il valore assunto è opportunamente confrontato con quelli derivanti da indagini in altri Paesi europei. In assenza di valori derivanti da indagini italiane, si assume come valore di LDR:
- il valore contenuto in linee guida europee;
- il valore massimo dei valori di LDR derivati da indagini nazionali condotte in altri Paesi, in particolare Austria (AT), Belgio (BE), Danimarca (DK), Finlandia (FI), Francia (FR), Germania (DE), Irlanda (IE), Paesi Bassi (NL), Regno Unito (UK) e Svizzera (CH). In presenza di ampie differenze, si escludono i valori estremi, minimi e massimi. I valori di LDR così derivati, ove possibile, vengono opportunamente arrotondati.

Procedure di radiologia diagnostica e interventistica di interesse per LDR

Le procedure radiologiche per le quali si sono determinati gli LDR soddisfano i seguenti criteri:

- hanno una relativamente elevata frequenza di esecuzione;
- hanno una denominazione univoca;
- consentono di eseguire verifiche degli LDR in una elevata percentuale di installazioni radiologiche;
- sono in numero limitato per ogni tipologia di installazione radiologica.

Si ritiene che questi criteri di scelta facilitino, all'interno delle singole strutture sanitarie, la raccolta delle informazioni dosimetriche su un campione significativo di procedure al fine della verifica periodica degli LDR come richiesto dalla normativa. L'ipotesi, alla base della verifica periodica degli LDR su un numero ristretto di tipologie di procedure, è che se l'esposizione media del paziente è inferiore al relativo LDR per alcune frequenti procedure radiologiche, essa lo sarà anche per tutte le altre procedure eseguite dal medesimo personale con la medesima installazione radiologica.

Indagini dosimetriche in Italia e in alcuni Paesi Europei

In questo paragrafo si riportano i valori di LDR o i valori del 75° percentile delle distribuzioni di dose derivanti dalle indagini italiane e da indagini condotte nei seguenti Paesi europei: Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Paesi Bassi, Regno Unito e Svizzera. Per ogni raggruppamento di esame si descrivono le grandezze dosimetriche di interesse per la definizione degli LDR o le grandezze ad esse correlate, anche con riferimento al Documento di consenso intersocietario italiano. Queste grandezze, misurate o calcolate

dall'apparecchiatura radiologica, quantificano l'emissione di radiazione ionizzante. Esse non rappresentano la dose assorbita agli organi o la dose efficace al paziente, anche se sono ad esse correlate. Essendo però di diretto e facile ottenimento, in quanto estraibili da oggetti standardizzati che accompagnano le immagini digitali trasmesse in formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) – quali ad esempio il RDSR (*Radiation Dose Structured Report*), sono comunque estremamente utili per gli obiettivi del monitoraggio e della ottimizzazione delle esposizioni. Per una descrizione esauriente delle grandezze dosimetriche operative per la radiologia diagnostica e interventistica si rimanda alla pubblicazione "IAEA TRS No. 547 – Dosimetry in Diagnostic Radiology: an International Code of Practice" (2007).

Grandezze dosimetriche per LDR

Le grandezze utili al monitoraggio dell'esposizione del paziente e alla definizione degli LDR sono:

- *Tempo di fluoroscopia (TF)*: esso è spesso utilizzato per indicare la complessità della procedura ma, considerato da solo, non può essere utilizzato come descrittore di dose al paziente.
- *Prodotto Kerma in Aria-area (P_{KA})*: espresso in $Gycm^2$, $mGycm^2$, $cGycm^2$ o $\mu Gy m^2$, indicato anche DAP (*Dose Area Product*) o KAP (*Kerma Area Product*), è un importante indicatore di dose al paziente in quanto correlato con gli effetti stocastici della radiazione.
- *Kerma in aria incidente cumulativo (Cumulative air Kerma, CK) al punto di riferimento interventistico (Interventional Reference Point, IRP)*: espresso in mGy, è utilizzato per monitorare la dose al paziente in quanto rappresenta un'indicazione della possibile massima dose cutanea. Il punto di riferimento interventistico è posto sull'asse del fascio di raggi X a 15 cm dall'isocentro dell'arco a C verso il tubo radiogeno. Il CK non include la radiazione retrodiffusa dal paziente, che contribuisce per il 40% circa alla dose alla cute. Questa grandezza viene comunemente impiegata per introdurre *Livelli di allerta (trigger levels)* utili per avvertire l'operatore che la procedura sta impartendo al paziente valori di dose alla cute superiori alle soglie per i danni cutanei da irradiazione. Non vengono pertanto introdotti in queste raccomandazioni che si riferiscono solo ai valori di LDR. Valori LDR da indagini nazionali ed Europee. Alle indagini nazionali dell'ISS e del GISE ha partecipato un numero significativo di centri radiologici, e quelli adottati in alcuni Paesi europei e comunque derivanti da indagini nazionali. I valori di LDR riportati, in generale, non tengono conto del livello di complessità della procedura interventistica.

Applicazione degli LDR nella pratica clinica

Gli LDR non si applicano alle esposizioni individuali di singoli pazienti: un livello diagnostico di riferimento è infatti definito per procedure standard destinate a gruppi standardizzati di

pazienti o ad un fantoccio standard. Il confronto dei valori dosimetrici di ogni singola installazione radiologica con degli LDR deve pertanto essere eseguito con i dati di esposizione raccolti su un campione di pazienti.

Al fine di effettuare un confronto, la Struttura deve raccogliere un numero minimo di casi per una data procedura: il valore mediano dei dati dosimetrici raccolti per ciascuna procedura e per una specifica diagnostica viene confrontato con il valore di LDR.

Sarebbe bene utilizzare il valore mediano e non il valore medio per eseguire il confronto in quanto la media dei valori può essere fortemente influenzata dalle code ad alta dose della distribuzione, in particolare nella pratica di radiologia interventistica.

Quando la presente raccomandazione indica più valori di LDR per una medesima procedura si ritiene che:

- *per le procedure radiografiche*

deve essere presa in considerazione la grandezza dosimetrica più facilmente valutabile;

- *per le procedure di TC*

deve essere confrontato il DLP totale o, quando il DLP tot non è disponibile, il DLP della singola scansione; il confronto con il valore di CTDIvol può consentire di individuare la causa di superamento del DLP;

- *per le procedure fluoroscopiche e interventistiche*

il confronto deve essere fatto con il valore del KAP; il valore delle altre grandezze è utile per identificare possibili cause di superamento del valore di LDR (es. un valore elevato del tempo di fluoroscopia può indicare un mix di procedure particolarmente complesse o la presenza di un operatore in formazione e ciò può giustificare una maggiore dose media al paziente).

Una analisi più approfondita si rende necessaria se il valore mediano locale è più alto o sostanzialmente più basso del valore di LDR. Un valore di LDR è da considerarsi superato quando il valore mediano per un campione rappresentativo di pazienti di corporatura normale, oppure di pazienti all'interno di un intervallo eventualmente specificato di peso e/o dimensioni e/o età, è maggiore del corrispondente valore di LDR.

Numero minimo di esami o procedure che si propone di raccogliere per il confronto con gli LDR è:

- Radiografia proiettiva: 20 pazienti;
- Mammografia: 50 pazienti a causa delle variazioni nello spessore della mammella compressa
- Fluoroscopia: 30 pazienti
- TC: 30 pazienti
- Radiologia interventistica: si raccomanda la raccolta di dati relativi ad almeno 30 pazienti

- Radiologia pediatrica: 10 pazienti per ogni gruppo di età . Per la radiologia pediatrica, se viene utilizzato il metodo di curva LDR proposto nella linea guida Europea dovranno essere raccolti i dati relativi ad almeno 10 pazienti, per esami non complessi, o 20 pazienti, per procedure complesse, a condizione che essi rappresentino ragionevolmente l'intera gamma di età del paziente pediatrico.

Attualmente, il DL.vo 187/2000 richiede che il confronto con i valori LDR debba essere eseguito con frequenza biennale e più frequentemente, ma non meglio specificato, per le pratiche speciali. La recente ICRP raccomanda che, se non diversamente previsto dalla normativa vigente, il confronto delle pratiche radiologiche con i valori di LDR debba essere eseguito almeno ogni 3 anni e più frequentemente, anche annualmente, per la diagnostica TC e la radiologia interventistica.

Fattori da considerare in caso di superamento degli LDR

Dall'esperienza maturata anche in Italia, con l'applicazione del DL.vo 187/2000 (42), si è visto che il confronto della pratica radiologica di una installazione con i valori LDR consente, oltre ad individuare ed eliminare livelli di dose al paziente non accettabili, di identificare aspetti della pratica radiologica non ottimizzati dal punto di vista della protezione radiologica del paziente.

Come indicato precedentemente, se viene superato un valore di LDR la pratica radiologica di quella installazione deve essere esaminata senza ritardo. L'indagine deve servire ad identificare le cause del superamento del valore di LDR.

Una prima analisi riguarda l'insieme dei dati del campione di procedure utilizzato per il confronto con i valori di DRL; ad esempio, ci possono essere casi di pazienti che falsano il confronto per i quali si è resa necessaria un'estensione della procedura radiologica normale al fine di ottenere l'informazione diagnostica richiesta. In generale, i fattori che dovranno essere analizzati per individuare le cause di superamento sono:

- il protocollo della procedura radiologica, relativamente ai fattori tecnici;
- le prestazioni dell'apparecchiatura, compreso il dispositivo per la visualizzazione o produzione delle immagini e i parametri tecnici preimpostati dal fabbricante, dal radiologo, dal medico specialista, dal tecnico di radiologia o dal fisico medico;
- le competenze degli operatori medici o tecnici, compresa l'esperienza e la formazione degli operatori;
- la complessità della casistica; in ospedale ad elevata complessità si potrà avere una complessità media delle procedure, specialmente quelle di TC e di radiologia interventistica, più elevata rispetto ad un ambulatorio radiologico o a un ospedale di rete.

Conclusioni

I valori raccomandati di LDR dovranno infatti essere utilizzati dalle strutture radiologiche con il supporto dell'esperto di fisica medica nel modo dettato dalla normativa vigente in materia. Come si evince dalla lettura del documento, non per tutti gli esami e procedure è

stato possibile individuare valori di LDR per le diverse grandezze dosimetriche e non dosimetriche di interesse, in alcuni casi i valori di LDR si riferiscono a specifiche tecnologie, alle volte datate ma comunque presenti – vedi gli esami di coro-CT, o non tengono conto dell’apporto recente di tecniche di immagine non radiologiche, vedi le procedure cardiologiche di elettrofisiologia. Si renderà pertanto necessario proporre nuove indagini nazionali al fine di completare il set di procedure per cui individuare valori di LDR. Si ritiene infine che questo approccio alla definizione dei valori di LDR, con linee guida dell’ISS, sviluppate in collaborazione con le associazioni scientifiche, semplifichi in futuro l’aggiornamento periodico degli stessi e renda la pratica di ottimizzazione delle esposizioni mediche sempre aderente allo sviluppo della pratica radiologica.

CAPITOLO 4

RACCOLTA DATI: MATERIALI E METODI

La raccolta dati è stata effettuata presso il reparto di Radiologia dell’Ospedale Pediatrico “G. Salesi” di Ancona, nella diagnostica D4, adibita all’esecuzione degli esami contrastografici.

Il telecomandato utilizzato per raccolta dati è l’Opera Swing di General Medical Merate S.p.A., un sistema multifunzionale radiografia/fluoroscopia per l’esecuzione di esami radiografici. Il sistema è costituito da un generatore di alta tensione ad alta frequenza fino a 400 kHz per radiografia, fluoroscopia e tecniche digitali. Caratteristiche tecniche: potenza 80 kW, tensione massima 150 kV, corrente massima 1000 mA e controllo a microprocessore. Risulta compatibile per l’alimentazione di un tubo radiogeno bifocale ad anodo rotante, ed è predisposto per l’utilizzo di un esposimetro automatico.

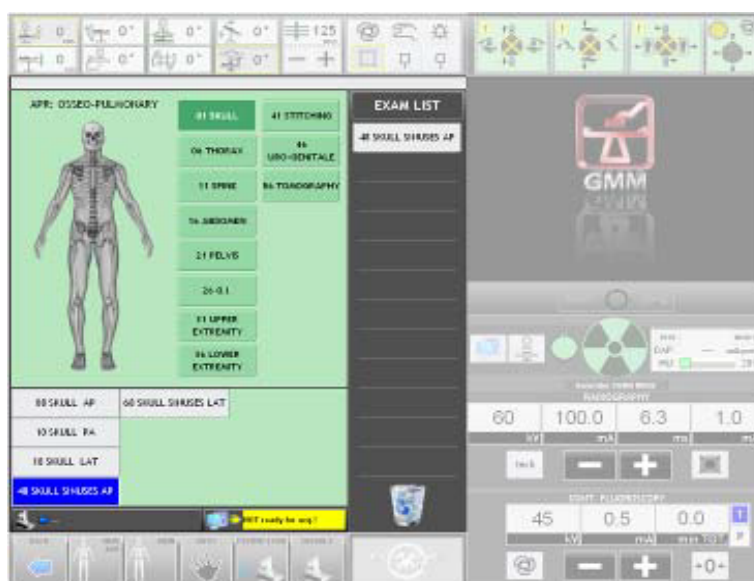


Fig. 4: schermata di selezione del protocollo d'esame

Il detettore in dotazione e` il PixiumRF, un rivelatore digitale che presenta le seguenti caratteristiche:

- Tecnologia: matrice di fotodiodi al silicio amorfo;
- Scintillatore: allo Ioduro di Cesio con alto assorbimento ed elevata risoluzione;
- Area utile detettore: 43x43 cm;
- Matrice trasmessa: 2880x2880 pixel;
- Pixel: 148 micron;
- DQE(Detective quantum efficiency): 65% a 0 lp/mm;
- Conversione A/D: 16 bit.

I processi in tempo reale e le modalit  operative disponibili sono:

Fluoroscopia continua

Area	Risoluzione	Cadenza
43x43 cm	960x960x16 bit	18 imm/s
30x30 cm	1024x1024x16 bit	15 imm/s
20x20 cm	672x672x16 bit	30 imm/s
15x15 cm	1024x1024x16 bit	15 imm/s

Fluoroscopia ad impulsi

Area	Risoluzione	Cadenza
43x43 cm	960x960x16 bit	15 imm/s
30x30 cm	1024x1024x16 bit	15 imm/s
20x20 cm	672x672x16 bit	15 imm/s
15x15 cm	1024x1024x16 bit	15 imm/s

Radiografia

Area	Risoluzione	Cadenza
43x43 cm	2880x2880x16 bit	3 imm/s max
43x43 cm	1440x1440x16 bit	8 imm/s max

L'apparecchio e` inoltre dotato di un collimatore, fornito di centratore luminoso a campo pieno e di localizzatore laser, permette tre tipi di regolazione: manuale, telecomandata dalla console di comando e automatica, in funzione del formato scelto sul sistema digitale e della distanza sorgente-detettore. Una micro-telecamera inserita nel collimatore consente di visualizzare la posizione del paziente sulla console di comando senza emissione di radiazioni. Il sistema automatico di filtrazione aggiuntiva gestisce l'inserimento dei filtri aggiuntivi, che avviene automaticamente sulla base delle impostazioni definite nel programmatore

anatomico per ogni tipo di esame. Le filtrazioni aggiuntive disponibili sono: 1 mm Al, 2 mm Al, 0,1 mm Cu, 0,2 mm Cu.

La griglia antidiffusione utilizzata è composta da 215 lamelle/pollice con ratio 12:1. La stessa è inserita in un dispositivo di auto-focalizzazione che provvede ad impostare automaticamente la corretta focalizzazione della griglia in funzione della distanza fuoco-detettore selezionata (Fig. 5). Per consentire un'ulteriore riduzione dei livelli di dose, la griglia può essere rimossa dall'operatore.



Fig. 5: la griglia antidiffusione si adatta alla distanza fuoco-detettore

Metodo d'indagine

Nel periodo che va dal 18/02/2019 al 25/09/2019 sono stati presi in considerazione i seguenti dati:

- Nome dell'esame e data;
- data di nascita;
- DAP (Dose area product), espresso in dGy per cm²;
- EXP TIME, tempo di esposizione ai raggi X;
- SERIE, numero di sequenze acquisite;
- FRAMES, numero di fotogrammi acquisiti;
- area del campo, misura della collimazione del fascio X;
- Sesso del paziente;

- richiedente.

Con i dati raccolti sono state calcolate le categorie di peso e di età, DAP, SERIE e FRAMES, massimi, medi e minimi. Sono state create delle tabelle per riassumere e raccogliere i dati in base all'esame effettuato, alle fasce di età e di peso. Obiettivo finale, il confronto con gli LDR Europei e Internazionali.

CAPITOLO 5

RISULTATI

Grazie all'utilizzo di tabelle Pivot è stato possibile ricavare i seguenti dati:

- La tabella 4 mostra i risultati per l'esame CISTOGRAFIA RETROGRADA, il numero complessivo è estremamente ridotto (10 casi) e il gruppo più popoloso è 0.5 anni, dove il valore medio di DAP risulta $1.31 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$. Il valore massimo di DAP si trova nel gruppo 11-15 anni, che corrisponde alla fascia d'età dei pazienti più vecchi, ed è $13.99 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$. La media delle serie risulta compresa tra 26 e 122 e il numero di frame tra 77 e 258;
- la tabella 5 mostra i risultati per l'esame CLISMA OPACO: il numero complessivo è lo stesso della CISTOGRAFIA RETROGRADA (10 casi), mentre il gruppo più popoloso è 6-10 anni, il cui valore medio di DAP è $51.39 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$, il valore massimo si trova nel gruppo 11-15 anni, che corrisponde alla fascia d'età dei pazienti più vecchi, la media delle serie risulta compresa tra 9 e 63 e il numero di frame tra 72 e 218;
- nella tabella 6 sono mostrati i risultati per l'esame TUBO DIGERENTE: il numero complessivo è il più elevato fra gli esami presi in considerazione (95 casi), mentre il gruppo più popoloso è lo 0.5, il cui valore medio di DAP è $4.85 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$. Il gruppo 0.5-1 anni presenta un DAP medio di $3.07 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$, l'1-5 anni $8.05 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$, il 6-10 anni $8.78 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$, l'11-15 anni $45.35 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$, mentre il gruppo maggiore di 16 anni ha un DAP medio di $64.8 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$. Il valore massimo si trova nel gruppo maggiore di 16 anni, che corrisponde alla fascia d'età dei pazienti più vecchi, la media delle serie risulta compresa tra 20 e 31 e il numero di frame tra 234 e 1397;
- la tabella 7 mostra i risultati per l'esame URETROCISTOGRAFIA ASCENDENTE: il numero complessivo è il secondo più elevato (43 casi), mentre il gruppo più popoloso è lo 0.5 anni, il cui valore medio di DAP è $9.35 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$. Il gruppo 0.5-1 anni presenta un DAP medio di $11.14 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$, l'1-5 anni $2.65 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$, il 6-10 anni $29.7 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$ e l'11-15 anni $38.66 \text{ dGy} \cdot \text{cm}^2$. Il valore massimo si trova nel gruppo 11-15

anni, che corrisponde alla fascia d'età dei pazienti più vecchi, la media delle serie risulta compresa tra 34 e 62, il numero di frame tra 114 e 495;

- la tabella 8 considera il peso al posto dell'età. L'unico esame che risulta avere un numero accettabile per ricavare una statistica è TUBO DIGERENTE. Il numero complessivo è di 29 casi, mentre il gruppo più popoloso è il 5-15 kg, il cui valore medio di DAP è 10,08 dGy*cm². Il valore massimo si trova nel gruppo >50 kg ed è 140,04 dGy*cm², la media delle serie risulta compresa tra 16 e 69, il numero di frame tra 227 e 2467;
- la tabella 9 confronta i dati dosimetrici Europei e Internazionali con i dati raccolti nella sede di Ancona Ospedale "G. Salesi" e mostra come i nostri livelli sono superiori ai valori UNSCEAR ma non in maniera omogenea per gli esami del tratto urinario. Per quanto riguarda gli esami del tratto gastrointestinale, in letteratura essi sono divisi in tratto faringe-esofago e basso esofago-stomaco-duodeno, mentre nella nostra pratica clinica essi sono eseguiti in un'unica soluzione; in questo caso i valori risultano essere confrontabili coi dati UNSCEAR anche in relazione a quanto detto sopra.

Tab. 4 Dati esaminati per l'esame CISTOGRAFIA RETROGRADA, fasce di età

ESAME	Categoria (Anni)	Sesso	Conteggio di ESAME	Media di DAP(dGy*cm ²)	Dev. standard di DAP(dGy*cm ²)	Media di EXP TIME(s)	Dev. standard di EXP TIME(s)	Media di SERIE	Media di FRAMES
RX CISTOGRAFIA RETROGRADA	0,5	F	1	0,96	/	194,00	/	122	258
		M	4	1,40	1,00	91,25	52,21	39	130
	0,5 Totale		5	1,31	0,89	111,80	64,47	56	156
	0,5-1	M	1	0,64	/	52,00	/	34	79
	0,5-1 Totale		1	0,64	/	52,00	/	34	79
	1-5	F	1	1,75	/	74,00	/	30	77
	1-5 Totale		1	1,75	/	74,00	/	30	77
	11-15	F	2	9,73	5,35	66,50	16,26	32	96
		M	1	13,99	/	73,00	/	26	116
	11-15 Totale		3	11,15	4,51	68,67	12,10	30	103
RX CISTOGRAFIA RETROGRADA Totale			10	4,24	5,26	89,10	49,83	43	124

Tab. 5 Dati esaminati per l'esame CLISMA OPACO, fasce di età

ESAME	Categoria (Anni)	Sesso	Conteggio di ESAME	Media di DAP(dGy*cm ²)	Dev. standard di DAP(dGy*cm ²)	Media di EXP TIME(s)	Dev. standard di EXP TIME(s)	Media di SERIE	Media di FRAMES
RX CLISMA OPACO	0,5	F	1	0,85	/	53,00	/	9	72
		M	2	3,04	2,55	134,50	54,45	26	151
	0,5 Totale		3	2,31	2,20	107,33	60,80	20	125
	1-5	F	1	2,53	/	74,00	/	20	134
	1-5 Totale		1	2,53	/	74,00	/	20	134
	6-10	F	3	36,90	2,93	105,67	28,57	26	160
		M	2	73,11	40,74	201,50	75,66	33	218
	6-10 Totale		5	51,39	28,51	144,00	67,78	29	183
	11-15	M	1	88,55	/	114,00	/	63	163
	11-15 Totale		1	88,55	/	114,00	/	63	163
RX CLISMA OPACO Totale			10	35,49	36,10	123,00	58,87	29	159

Tab. 6 Dati esaminati per l'esame TUBO DIGERENTE COMPLETO, fasce di età

ESAME	Categoria (Anni)	Sesso	Conteggio di ESAME	Media di DAP (dGy*cm ²)	Dev. standard di DAP(dGy*cm ²)	Media di EXP TIME(s)	Dev. standard di EXP TIME(s)	Media di SERIE	Media di FRAMES
RX TUBO DIGERENTE COMPLETO	0,5	F	18	3,07	2,10	232,17	168,16	27	601
		M	16	6,85	10,09	257,69	129,55	30	854
	0,5 Totale		34	4,85	7,23	244,18	149,54	28	720
	0,5-1	F	6	2,89	2,84	139,83	100,07	23	709
		M	3	3,43	1,74	138,67	84,57	27	296
	0,5-1 Totale		9	3,07	2,43	139,44	89,71	24	572
	1-5	F	10	9,31	5,21	190,10	111,04	28	763
		M	12	6,99	8,11	130,75	102,74	20	448
	1-5 Totale		22	8,05	6,89	157,73	108,30	24	591
	6-10	F	3	51,32	39,45	140,00	23,07	25	488
		M	6	14,51	9,65	179,83	84,73	32	327
	6-10 Totale		9	26,78	28,03	166,56	70,83	30	381
	11-15	F	6	65,31	45,29	299,83	150,72	29	1397
		M	9	32,04	24,91	184,89	133,13	31	389
	11-15 Totale		15	45,35	37,04	230,87	147,10	30	792
	>16	F	1	21,26	/	254,00	/	20	234
		M	5	73,51	66,83	204,60	161,75	23	1206
	>16 Totale		6	64,80	63,47	212,83	146,07	22	1044
RX TUBO DIGERENTE COMPLETO Totale			95	17,68	29,81	202,80	132,96	27	676

Tab. 7 Dati esaminati per l'esame URETROCISTOGRAFIA ASCENDENTE, fasce di età

ESAME	Categoria (Anni)	Sesso	Conteggio di ESAME	Media di DAP (dGy*cm ²)	Dev. standard di DAP(dGy*cm ²)	Media di EXP TIME(s)	Dev. standard di EXP TIME(s)	Media di SERIE	Media di FRAMES
RX URETROCISTOGRAFIA ASCENDENTE	0,5	F	6	4,86	9,13	90,50	22,55	42	164
		M	10	12,05	24,19	155,00	91,71	62	295
	0,5 Totale		16	9,35	19,80	130,81	79,10	55	246
	0,5-1	F	2	0,97	0,14	91,50	23,33	62	140
		M	3	17,92	27,61	174,00	81,10	58	495
	0,5-1 Totale		5	11,14	21,62	141,00	73,94	59	318
	1-5	F	3	3,09	2,36	139,00	125,57	49	158
		M	7	2,47	1,78	116,00	77,26	43	156
	1-5 Totale		10	2,65	1,86	122,90	87,22	45	157
	6-10	F	5	36,66	51,66	56,60	21,35	35	114
		M	3	18,09	26,18	87,33	48,06	34	153
	6-10 Totale		8	29,70	42,58	68,13	34,25	35	131
	11-15	F	4	38,66	25,63	84,00	19,37	47	157
	11-15 Totale		4	38,66	25,63	84,00	19,37	47	157
RX URETROCISTOGRAFIA ASCENDENTE Totale			43	14,51	26,05	114,14	72,85	48	203

Tab. 8 Dati esaminati per l'esame TUBO DIGERENTE COMPLETO, fasce di peso

ESAME	Fasce peso (Kg)	Sesso	Conteggio di ESAME	Media di DAP (dGy*cm ²)	Dev. standard di DAP(dGy*cm ²)	Media di EXP TIME(s)	Dev. standard di EXP TIME(s)	Media di SERIE	Media di FRAMES
RX TUBO DIGERENTE COMPLETO	<5	F	1	8,22	/	635,00	/	69,00	1317,00
		M	2	1,75	2,01	160,50	160,51	22,00	227,50
	<5 Totale		3	3,91	4,00	318,67	296,53	37,67	590,67
	5-15	F	12	11,91	27,01	196,58	142,22	22,67	879,83
		M	3	2,79	1,20	170,00	115,76	29,00	284,00
	5-15 Totale		15	10,08	24,25	191,27	133,90	23,93	760,67
	16-30	M	5	19,07	12,38	78,80	24,39	21,40	379,80
	16-30 Totale		5	19,07	12,38	78,80	24,39	21,40	379,80
	31-50	F	2	40,35	23,97	292,50	54,45	36,50	546,00
		M	2	35,78	43,97	301,00	287,09	42,50	339,00
	31-50 Totale		4	38,07	29,03	296,75	168,77	39,50	442,50
	>50	M	2	140,04	48,15	222,00	140,01	16,00	2467,00
	>50 Totale		2	140,04	48,15	222,00	140,01	16,00	2467,00
RX TUBO DIGERENTE COMPLETO Totale			29	23,82	40,39	201,72	156,92	26,52	751,21

Tab. 9 Confronto dati di dosimetria Pediatrica Europei e Internazionali

^ i valori si riferiscono all'esame tubo digerente completo

Esami	Eta` (Anni)	Austria	Gran Bretagna	Olanda	Irlanda	Spagna	UNSCEAR	Ancona
		KAP Gy*cm ²						
Cistouretrografia ascendente	0	0,50	0,10	0,3	0,40	0,5	0,43	0,94
	1	0,70	0,30	0,7	0,90	/	0,81	1,11
	5	1,20	0,30	0,8	1,10	0,75	0,94	0,27
	10	2,00	0,40	/	2,10	0,9	1,64	2,97
	15	/	0,90	/	4,70	1,45	3,41	3,87
Tubo digerente per basso esofago-stomaco-duodeno	0	/	0,10	/	0,70	/	0,76	0,49[^]
	1	/	0,20	/	2,00	/	1,61	0,3[^]
	5	/	0,20	/	2,00	/	1,62	0,8[^]
	10	/	0,70	/	4,50	/	3,19	2,68[^]
	15	/	2,00	/	7,20	/	5,67	4,53[^]
Tubo digerente per faringe e esofago	0	/	0,20	/	0,80	/	0,56	/
	1	/	0,40	/	1,60	/	1,15	/
	5	/	0,50	/	1,30	/	1,01	/
	10	/	1,80	/	2,70	/	2,40	/
	15	/	3,00	/	4,60	/	3,17	/

CONCLUSIONI

Dalla raccolta dati e dall'analisi effettuata in questo lavoro di tesi sono risultate alcune criticità in fase di implementazione della pratica dei Livelli Diagnostici di riferimento in ambito locale.

Innanzitutto si è evidenziata una disomogeneità nella dicitura dell'esame che comporta ovviamente una non corretta gestione dei dati. Il secondo aspetto, molto importante, anche in relazione al recente approccio suggerito dall'ESR (European Society of Radiology) in ambito pediatrico circa la classificazione per gli esami radiologici addominali in base al peso e non all'età dei bambini, in quanto poco rappresentativa dei parametri correlati alle esposizioni, è la scarsa tendenza alla registrazione di peso e altezza dei pazienti.

Dall'analisi effettuata risulta che sicuramente la casistica analizzata è ancora scarsa per poter elaborare degli LDR locali numericamente accettabili, tuttavia risulta evidente che nel caso dei pazienti più piccoli a fronte di esposizioni ridotte si hanno tempi di esecuzione più elevati, il che sottolinea come l'esposizione sia da correlare non solo a fattori fisici ma anche di gestione del paziente. Non esiste quindi una proporzionalità tra dose e età, tutt'al più una tendenza inversa quando l'età supera i 5 anni. Per età superiori la dose inizia a essere proporzionale alle dimensioni del paziente. Adottando la classificazione per peso si riesce ad ottenere una maggiore correlazione di questo fattore con la dose, il tempo di esposizione rimane sempre legato a fattori clinico gestionali difficilmente classificabili. Questo aspetto tuttavia suggerisce in prospettiva di raccolte dati più massicce di inserire un indice di complessità della procedura/collaboratività del paziente.

Il confronto coi dati presenti in letteratura mostra che i nostri livelli sono come ordine di grandezza confrontabile con quelli pubblicati, tuttavia in alcuni casi i valori sono significativamente più elevati. Queste discordanze vanno riferite a differenti aspetti, innanzitutto il numero esiguo di dati raccolti, successivamente alla non corrispondente dicitura degli esami, infine alla classificazione dei pazienti.

Risulta quindi che gli LDR impiegati in ambito locale sono degli strumenti estremamente utili ma di difficile realizzazione e impiego, soprattutto in relazione alle caratteristiche della popolazione di riferimento, per ridurre o quantomeno attenuare queste criticità è opportuno effettuare una massiccia raccolta dati il più dettagliata possibile.

BIBLIOGRAFIA

- **“Anatomia radiologica – Tecniche e metodologie in radiodiagnostica”, F. Mazzucato, 03/2009.**
- **“Manuale di tecnica, metodologia e anatomia radiografica tradizionali”, F. Mazzucato – A. Giovagnoni, 12/2018.**
- **“SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION UNSCEAR 2013 Report – Volume II Scientific annex B: effects of radiation exposure to children”, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.**
- **“Radiation protection n. 185 – European guidelines on Diagnostic reference levels for Paediatric imaging”, European Commission, 2018.**
- **<https://www.gmmspa.com/> Descrizione tecnica Opera Swing Telecomandato – General Medical Merate S.p.A.**
- **“ISTISAN 17/33 - Livelli diagnostici di riferimento nazionali per la radiologia diagnostica e interventistica”, Istituto Superiore di Sanita`, R. Padovani, G. Compagnone, L. D'Ercole, A. Orlacchio, G. Bernardi, A. Rosi, F. Campanella, 2017.**
- **<https://www.msdmanuals.com/>**
- **<https://www.ajronline.org/>**