

## Evaluation of the lung in children with suspected pneumonia: usefulness of ultrasonography

### *Valutazione del quadro polmonare nei pazienti pediatrici con sospetto clinico di polmonite: apporto dell'ecografia*

D. Iuri • A. De Candia • M. Bazzocchi

Istituto di Radiologia Policlinico Universitario di Udine, Via Colugna 50, 33100 Udine, Italy  
Correspondence to: D. Iuri, Tel.: +39-0432-559621, Fax: +39-0432-559867, e-mail: davidur@tin.it

Received: 30 November 2007 / Accepted: 2 January 2008 / Published online: 28 October 2008  
© Springer-Verlag 2009

#### Abstract

**Purpose.** The authors sought to evaluate the sensitivity of chest ultrasound (US) versus chest radiography in detecting lung consolidation and pleural effusion in children with a clinical suspicion of pneumonia.

**Materials and methods.** Thirty-two chest radiographs and 32 chest US examinations were performed in 28 consecutive patients (aged 4 months to 17 years) with a clinical suspicion of pneumonia. Chest US examinations were carried out with a convex-array broadband probe (2–5 MHz) and a high-frequency linear-array broadband probe (5–12 MHz). The results obtained were compared with those of chest radiography.

**Results.** Chest radiography identified subpleural consolidation in 22 patients, perihilar consolidation in 7, and pleural effusion in eight. In the same 22 patients, chest US showed 22 cases of subpleural consolidation but no cases of perihilar consolidation; pleural effusion was detected in 15 patients.

**Conclusions.** Chest US is capable of identifying subpleural consolidation with the same sensitivity as chest radiography and is highly accurate in demonstrating pleural effusion. For this reason, chest US may be a valuable aid and possible alternative to standard chest radiography in the evaluation and follow-up of children with suspected pneumonia.

**Keywords** Thoracic sonography · Lung consolidation · Pleural effusion · Pneumonia

#### Riassunto

**Obiettivo.** Valutare la sensibilità dell'ecografia della parete toracica, rispetto all'Rx torace nei pazienti pediatrici con sospetta polmonite nell'identificazione di addensamenti polmonari e versamento pleurico.

**Materiali e metodi.** In 28 pazienti consecutivi, con esame obiettivo sospetto per polmonite (di età tra 4 mesi e 17 anni) sono stati eseguiti, considerando sia gli esami all'esordio che i controlli, 32 radiogrammi del torace ed altrettante ecografie della parete toracica. Quest'ultimo esame è stato condotto mediante sonda convex ad ampia banda (2–5 MHz) e sonda lineare ad alta frequenza ad ampia banda (5–12 MHz), confrontando i risultati ottenuti con quelli dell'Rx.

**Risultati.** Globalmente l'Rx ha dimostrato in 22 pazienti la presenza di addensamenti subpleurici, in 7 addensamenti a sede parailare ed in 8 versamento pleurico. Nei medesimi pazienti l'ecografia ha riscontrato 22 addensamenti subpleurici, nessuno esclusivamente in sede parailare ed in 15 pazienti presenza di versamento pleurico.

**Conclusioni.** L'ecografia permette di identificare gli addensamenti parenchimali polmonari, qualora siano situati in sede subpleurica, quantomeno con la stessa sensibilità dell'Rx e come noto valuta molto bene il versamento pleurico. Pertanto l'ecografia si pone come un valido supporto ed eventuale alternativa agli esami radiologici tradizionali nel monitoraggio dei pazienti pediatrici.

**Parole chiave** Ecografia toracica · Addensamenti polmonari · Versamento pleurico · Polmonite

## Introduction

Chest radiography is considered the reference examination in the diagnosis of pneumonia in children, whereas chest ultrasound (US) is not typically used for this purpose [1]. Chest radiography presents, however, some important disadvantages, including exposure to ionising radiation and a high degree of inter- and intraobserver variability, not only in typical parenchymal consolidation but especially in consolidations affecting areas that are difficult to explore with radiography, such as retrocardiac locations or the lung bases [2]. In adults with pneumonia, parenchymal consolidation is reported to extend to the pleura in 98.5% of cases. Compared with CT, chest US in adults had 90% sensitivity and 98% specificity [3]. Given the smaller volume of lung parenchyma in children, it is likely that the pleura becomes involved more rapidly and to a greater extent than in adults and that chest US may provide results at least comparable with those obtained in adults. Children who tend to be affected by recurrent chest infections and do not show definite clinical improvements despite treatment require continuous monitoring by chest radiography [1]. In many cases, chest US may provide equally useful clinical information and be used as an alternative to standard chest radiography. The aim of this study was to evaluate the sensitivity of chest US compared with chest radiography in identifying parenchymal consolidation and pleural effusion in children with suspected pneumonia.

The normal lung is poorly accessible to the US beam because the great difference in impedance between the pleura and the alveolar air causes US waves to be completely reflected. Nonetheless, US waves retain high energy concentrations and are thus reflected several times between the impedant surface and the transducer. This produces reverberation artefacts, that is, multiple transverse echoes that are displayed on the monitor at equidistant intervals and increasingly greater depths. On the other hand, when the subpleural alveoli contain fluid, semifluid or solid material (e.g. inflammatory exudate), the US waves pass through the pleura and reach the area of parenchymal consolidation [4]. The echostructure of parenchymal consolidation is often heterogeneous, with coexisting areas of different parenchymal compactness and echogenic reflection. Air bronchogram may also be seen as an echogenic reflecting band, a finding resembling the hepatic biliary tree in case of aerobilia. It is reported to be present in 80%–90% of cases of lung consolidation. Sometimes, when the bronchioles are traversed by the US beam, the air bronchogram may also appear as hyperechoic rounded images produced by the air trapped within the bronchial structures [5, 6]. US may also identify fluid bronchograms, which correspond to fluid-filled bronchial structures (typically mucus and/or inflammatory exudate) that assume a tubular, binary appear-

## Introduzione

*La radiografia del torace viene attualmente considerato l'esame di riferimento per la diagnosi di polmonite nell'età pediatrica, mentre l'ecografia della parete toracica, da alcuni definita anche ecografia polmonare, non risulta fra le diagnostiche per immagini utilizzate a tal fine [1]. In realtà la radiografia del torace, come ben sappiamo presenta alcuni limiti rilevanti. Innanzitutto l'esposizione alle radiazioni ionizzanti, secondariamente la variabilità dell'interpretazione inter- ed intra-osservatore, non tanto in un classico quadro di consolidamento polmonare, quanto soprattutto in presenza di addensamenti polmonari in sedi mal esplorabili col radiogramma, ad esempio retrocardiaca o a livello delle basi [2]. Nell'adulto, secondo i dati presenti in letteratura, gli addensamenti polmonari in corso di polmonite raggiungono la pleura nel 98,5% dei casi. Quando confrontati con la TC gli ultrasuoni, nel paziente adulto hanno dimostrato una sensibilità del 90% ed una specificità del 98% [3]. È ragionevole ipotizzare che nei bambini la polmonite possa estendersi alla pleura più rapidamente ed in percentuali maggiori, in relazione al minor volume del parenchima polmonare, e quindi che con l'ecografia polmonare si possano ottenere risultati perlomeno sovrapponibili a quelli degli adulti. Nei pazienti pediatriche, spesso affetti da flogosi delle vie respiratorie, a volte anche ripetutamente nel giro di pochi mesi, nei casi in cui non si sia un netto miglioramento all'esame obiettivo nonostante la terapia ci si trova davanti alla necessità di eseguire un monitoraggio nel tempo con radiogramma del torace [1]. In molti di questi casi l'ecografia della parete toracica potrebbe sostituire il radiogramma standard, fornendo informazioni con la stessa utilità clinica. Scopo di questo lavoro è valutare la sensibilità dell'ecografia della parete toracica, rispetto al radiogramma del torace nei pazienti pediatriche con sospetta polmonite, nell'identificazione degli addensamenti polmonari e del versamento pleurico.*

*Il polmone normale non è raggiungibile, quindi non è esplorabile con gli ultrasuoni, poiché l'elevata differenza d'impedenza acustica nel passaggio tra la pleura e l'aria contenuta all'interno degli alveoli polmonari determina una riflessione completa degli ultrasuoni. Essi tuttavia possiedono ancora molta energia, per cui vengono riflessi più volte tra la superficie impedente ed il trasduttore, generando artefatti costituiti da multipli echi trasversali, che vengono rappresentati sul monitor ad intervalli equidistanti tra loro e profondità via via crescenti; essi sono definiti riverberi. Quando invece gli alveoli in prossimità della pleura contengono materiale liquido, semiliquido o solido (nel nostro caso essudato flogistico), gli ultrasuoni possono oltrepassare la pleura e raggiungere la zona di parenchima polmonare addensato [4]. L'ecostruttura degli addensamenti è spesso disomogenea in quanto possono coesistere zone con diversa*

ance, with hypo- or anechoic fluid content and no Doppler flow signals [7]. Anechoic tubular structures may also be seen that correspond to the vessels and are easily distinguished from a fluid bronchogram in that they show colour signals on colour Doppler US [8].

## Materials and methods

Between October 2006 and July 2007, we performed a total of 32 chest US examinations and 32 chest radiographs (including diagnostic and follow-up examinations) on 28 consecutive children (17 boys, 11 girls; mean age 4.5 years; age range 4 months to 17 years) admitted to the paediatric emergency ward for respiratory symptoms and a clinical suspicion of pulmonary disease. Symptoms included rales, reduced vesicular murmur, tachypnoea, dyspnoea and/or cough and fever  $>37.5^{\circ}\text{C}$ .

Before the US examination, the children's parents or guardians were informed about the limitations inherent in the small series reported in the literature and thus the need for further investigation by chest radiography, even if the US examination provided an apparently diagnostic result. The parents and guardians were also informed that the data would be stored and used in accordance with the law in force, and their informed consent was obtained.

Patients were divided into three age groups: 0–24 months, 2–4 years and 4 years or older. Patients from 0 to 24 months of age underwent ventrodorsal chest radiography in the supine position, 2- to 4-year-olds underwent only posteroanterior radiography in the standing position and patients aged 4 years or older underwent posteroanterior and laterolateral radiography in the standing position. Chest radiography was considered the reference standard.

Chest US was carried out on an ATL HDI 5000 unit (ATL-Philips, Bothell, USA) with a broadband (2–5 MHz) convex-array probe and a high-frequency broadband (5–12 MHz) linear-array probe. Patients were imaged in the sitting position, and the entire anterior and posterior chest wall was scanned one hemithorax at a time. Longitudinal and axial (intercostal) scans were acquired, along the conventional hemiclavicular, parasternal and axillary lines so as to cover the entire ribcage. If a suspicious finding was identified on B-mode US, colour Doppler and/or power Doppler US were used to depict vascularity. Pleural effusion was systematically looked for at the level of the anterior, lateral and posterior costophrenic angles.

Where pleural effusion was detected on US but not on chest radiography, the patient underwent serial US monitoring until complete reabsorption of the effusion. These data were not included in the statistical analysis, as they were not produced by the reference standard. The chest radiography and chest US results were interpreted by two inde-

*compattezza del parenchima polmonare e quindi diversamente ecorifletenti, ma anche coesistere broncogrammi aerei. Questo è visibile come stria ecogena e riverberante, reperto simile ai rami biliari epatici in caso di aerobilia, e sarebbe presente in circa l'80%–90% dei casi di addensamenti polmonari secondo i dati presenti in letteratura. Talvolta, quando i bronchioli vengono attraversati dagli ultrasuoni determinandone una sezione assiale, il broncogramma aereo può apparire anche come immagini rotondeggianti iperecogene generate appunto dall'aria intrappolata nelle strutture bronchiali [5, 6] Con l'ecografia si possono identificare anche i broncogrammi fluidi, cioè strutture bronchiali a contenuto liquido (generalmente muco e/o essudato flogistico) che quindi assumono morfologia tubulare, a binario, con contenuto liquido ipo o anecogeno, prive di flusso al campionamento doppler [7]. Possono essere altresì presenti strutture tubulari anecogene che rappresentano i vasi, facilmente differenziabili dal broncogramma fluido in quanto al color doppler presentano segnale colore [8].*

## Materiali e metodi

*In un periodo di 9 mesi (ottobre 2006–luglio 2007), considerando sia gli esami all'esordio che i controlli seriati, sono state eseguite 32 ecografie della parete toracica ed altrettanti radiogrammi del torace in un totale di 28 pazienti consecutivi (17 maschi, 11 femmine) afferiti al pronto soccorso pediatrico per sintomatologia respiratoria. Tutti avevano un esame obiettivo sospetto per coinvolgimento polmonare, cioè presenza di rantoli, ridotto murmure vescicolare, tachipnea, dispnea e/o tosse febbre  $>37,5^{\circ}\text{C}$ . L'età media è stata di 4,5 anni con un intervallo compreso tra 4 mesi e 17 anni.*

*I tutori legali dei pazienti, prima che questi ultimi fossero sottoposti all'ecografia, sono stati informati sui limiti derivanti dalle esigue casistiche a disposizione e pertanto della necessità di eseguire ulteriori approfondimenti (in particolare il radiogramma del torace) anche qualora l'esame fosse apparentemente risultato diagnostico. Ai tutori legali dei pazienti è stato reso noto che i dati sarebbero stati conservati ed utilizzati in ottemperanza alle leggi ed alle norme vigenti ed è stato ottenuto il loro consenso informato.*

*Essi sono stati suddivisi in 3 fasce d'età: 0–24 mesi, 2–4 anni e età maggiore di 4 anni. Ai pazienti nella fascia d'età 0–24 mesi è stato eseguito il radiogramma del torace in proiezione ventro-dorsale in posizione supina, nella fascia 2–4 anni solo in proiezione postero-anteriore in stazione eretta; infine nella fascia d'età superiore ai 4 anni sono state eseguite le due proiezioni ortogonali postero-anteriore e latero-laterale in stazione eretta. Si è preso come standard di riferimento il solo radiogramma del torace.*

*I pazienti sono stati sottoposti ad ecografia della parete*

pendent radiologists who were blinded to each other's findings. The data obtained were processed to calculate sensitivity, specificity and positive and negative predictive values of chest US in the identification of lung consolidation and pleural effusion.

## Results

The radiographic and US examinations were successfully performed in all patients. Overall, chest radiography identified seven cases of parahilar consolidation, 22 cases of subpleural consolidation and eight cases of pleural effusion. Air bronchogram was seen in seven cases. Chest US depicted 22 cases of subpleural consolidation, none of which extending exclusively to the perihilar area; pleural effusion was identified in 15 cases and air bronchogram in eight cases. The results are summarised in Table 1.

Among the examinations positive for consolidation, air bronchogram was seen on chest radiography in 29.1% (7/24) of cases and on US in 36.3% (8/22) of cases. Pleural effusion was detected in 33.3% (8/24) of the cases that were positive for consolidation on chest radiography and in 68.1% (15/22) of those positive for consolidation on US. In our series, chest US compared with chest radiography had 91.67% sensitivity and 100% specificity for lung consolidation; its negative predictive value was 84.6% and positive predictive value 100%. In all cases with radiographic demonstration of pleural effusion, this was also identified on US. In addition, in seven cases, the pleural effusion was visible on US only, and the patients were monitored until its complete reabsorption. Thus, 11 additional US examinations were performed, which were not, however, included in

**Table 1** Findings at chest X-ray and chest ultrasonography (US)

Finding	X-ray (n=32)	US (n=32)
Parahilar consolidation	7	0
Subpleural consolidation	22	22
Air bronchogram	7	8
Pleural effusion	8	15

**Tabella 1** Reperti riscontrati ai radiogrammi del torace ed all'ecografia toracica

Reperto	Radiogramma (n=32)	Ecografia (n=32)
Addensamenti parailari	7	0
Addensamenti subpleurici	22	22
Broncogramma aereo	7	8
Versamento pleurico	8	15

*toracica mediante un'apparecchiatura ATL HDI 5000 (ATL-Philips, Bothell, USA) mediante sonda convex ad ampia banda (2–5 MHz) e sonda lineare ad alta frequenza ad ampia banda (5–12 MHz). I pazienti venivano posizionati in stazione seduta e si procedeva ad esplorazione mediante sonda ecografica di tutta la parete toracica anteriore e posteriore, valutando un emitorace per volta. Sono state eseguite scansioni longitudinali ed assiali (intercostali) lungo quelle che sono i tradizionali punti di repere: la linea emiclaveare, parasternale, ascellare in modo da coprire tutta la gabbia toracica. Qualora venisse individuato un reperto sospetto all'ecografia in B-mode, veniva utilizzato anche il color doppler e/o power doppler per cercare di valutare la vascolarizzazione. È stato sistematicamente ricercato versamento pleurico a livello dei seni costofrenici anteriori, laterali e posteriori.*

*Nei casi di versamento pleurico con riscontro solo ecografico senza corrispettivo al radiogramma del torace si è optato per un monitoraggio ecografico seriato nel tempo fino al completo riassorbimento dello stesso. Questi dati non sono poi stati utilizzati per i calcoli statistici poiché privi di un esame standard di riferimento. Il radiogramma del torace e l'ecografia toracica sono stati interpretati da due medici radiologi indipendentemente, cosicché ognuno si trovasse all'oscuro del risultato dell'altro. Con i dati ottenuti sono stati calcolati i valori di sensibilità, specificità, valore predittivo positivo e negativo dell'ecografia toracica nell'identificazione degli addensamenti polmonari e del versamento pleurico.*

## Risultati

*In tutti i pazienti è stato possibile eseguire esami radiografici ed ecografici diagnostici. Complessivamente sono stati riscontrati, al radiogramma del torace 7 casi di addensamenti parailari ed in 22 casi a sede subpleurica; veniva segnalato versamento pleurico in 8 pazienti. In 7 casi si è riscontrato il broncogramma aereo. L'ecografia ha riscontrato in 22 casi addensamenti subpleurici, nessuno che si estendesse esclusivamente in sede perilare, in 15 casi è stato segnalato il versamento pleurico ed in 8 casi il broncogramma. I dati sono riassunti anche nella Tabella 1.*

*Il broncogramma aereo, in rapporto ai soli esami positivi per addensamento, al radiogramma del torace è stato riscontrato nel 29,1% (7/24) dei casi, mentre in ecografia nel 36,3% (8/22) dei casi. Il versamento pleurico è stato riscontrato nel 33,3% (8/24) dei casi nei quali i radiogrammi del torace avessero riscontrato un addensamento e nel 68,1% (15/22) delle ecografie positive per addensamento. Nella nostra casistica l'ecografia della parete toracica, quando confrontata con il radiogramma del torace, ha riportato una sensibilità del 91,67% nell'individuare gli*

the statistical analysis because of the lack of a reference standard better than chest radiography. In identifying pleural effusion, US had 100% sensitivity and specificity values.

## Discussion

Chest radiography is traditionally considered the method of choice in the evaluation of lung consolidation. However, modalities employing ionising radiation must be used very sparingly in children for two reasons: their higher tissue sensitivity to ionising radiation (as tissues are rich in proliferating cells), and their longer life expectancy, during which radiation-induced damage may emerge [9]. Children are reported to be ten times more sensitive to ionising radiation than are adults [10]. The most important measure for reducing medical radiation doses is to perform the examination (whether radiography or computed tomography) only if it is truly justified. Once the clinical need for the examination has been ascertained, appropriate measures and technical parameters (depending on the patient's weight and/or age) should always be implemented to achieve a significant reduction of exposure [11] while providing sufficient diagnostic quality (following the principle of keeping radiation doses as low as reasonably achievable – ALARA). The aim, it should be remembered, is not to produce a beautiful radiological image but to obtain an image allowing a diagnosis [9, 12]. Chest radiography is thus only indicated in a restricted number of patients admitted to hospital for suspected pneumonia, that is, those who present severe symptoms and signs of pneumonia [1]. In a small minority of patients with a suspicion of severe complications, with worsening signs and symptoms, discrepancy between imaging and clinical findings or with particularly severe and extensive lesions on radiography, computed tomography may also be used.

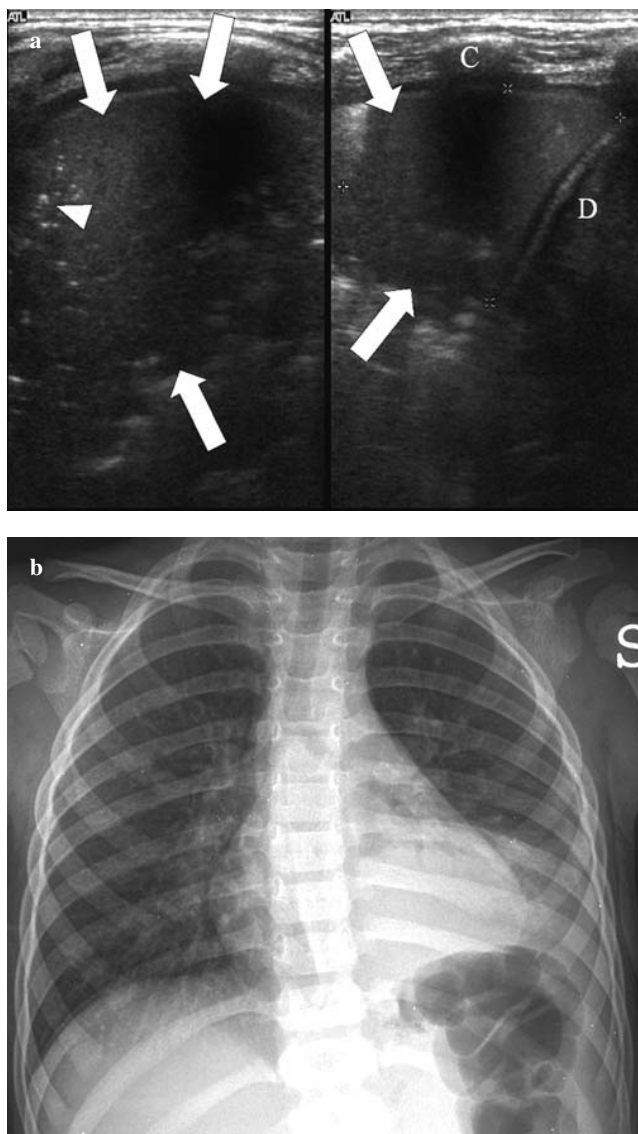
Although US has long been used to identify pleural effusion, only recently [13, 14] has the evaluation of lung parenchyma become possible, partly as a result of technological advances and multifrequency transducers (which have improved the technique's spatial resolution) [15]. In our study, the sensitivity of US in identifying parenchymal consolidation (Fig. 1) in children was as high as 91.67%, in agreement with the literature that reports values of 88%–90% for adult patients [14, 16]. Both chest radiography and US were able to identify another sign often seen in pneumonia – the air bronchogram – which was detected in 29.1% of cases on chest radiography and in 36.3% of cases on US (Fig. 2).

However, in the case of perihilar consolidation not extending to the subpleura and thus inaccessible to US, sonography is unable to visualise the diseased parenchyma

*addensamenti polmonari ed una specificità del 100%. Il valore predittivo negativo dell'ecografia nell'identificare gli addensamenti polmonari è risultata essere dell' 84,6% ed il valore predittivo positivo del 100%. In tutti i casi in cui era stato segnalato il versamento pleurico questo è stato identificato anche con l'ecografia; in più sono stati identificati ulteriori 7 pazienti in cui il versamento era visibile solo ecograficamente; in questi casi si è monitorato il paziente fino al completo riassorbimento del versamento, eseguendo quindi in totale ulteriori 11 ecografie, i cui dati però, mancando uno standard di riferimento migliore del radiogramma del torace, non sono stati utilizzati al fine della valutazione statistica. Per quanto concerne i versamenti pleurici, con i limiti sopra esposti, l'ecografia ha dimostrato dei valori di sensibilità e specificità nell'ordine del 100%.*

## Discussione

*Il radiogramma del torace viene classicamente considerato la metodica di primo livello nella valutazione degli addensamenti polmonari. Tuttavia in età pediatrica l'utilizzo di metodiche che utilizzino radiazioni ionizzanti deve essere molto oculato, per due ragioni: la maggiore sensibilità dei tessuti agli effetti delle radiazioni ionizzanti (perché più ricchi di cellule in proliferazione) e la maggiore aspettativa di vita durante la quale possono manifestarsi i danni radioindotti [9]. Per queste ragioni viene riportato in letteratura che i bambini avrebbero una sensibilità alle radiazioni ionizzanti fino a 10 volte superiori agli adulti [10]. La più importante misura per ridurre la dose di radiazioni erogata alla popolazione per scopi medici si attua in primo luogo eseguendo l'indagine (sia essa un radiogramma, piuttosto che un esame di tomografia computerizzata) solamente quando questa sia realmente giustificata. Una volta assodata la correttezza dell'indicazione all'esame radiologico bisogna ricordare che tale tipo di indagini vanno sempre eseguite utilizzando adeguati accorgimenti e parametri tecnici (variabili in funzione del peso e/o dell'età del paziente) che consentano di limitare al massimo l'esposizione alle radiazioni ionizzanti [11], pur ottenendo un'indagine di sufficiente qualità diagnostica (secondo il criterio del mantenere la dose il più possibile bassa per quanto ragionevolmente fattibile – ALARA, as low as reasonably achievable). Ricordiamo che l'obiettivo non è ottenere la più bella immagine radiologica possibile, ma l'immagine che permetta di fare diagnosi [9, 12]. Pertanto l'esecuzione del radiogramma del torace è indicato solamente in una limitata parte dei pazienti che giungono all'osservazione medica per sospetta polmonite, cioè in caso di polmoniti con un quadro clinico severo [1]. In casi ancora più selezionati in cui si sospettino gravi complicanze, vi sia un importante peggioramento della sintomatologia, reperti*



**Fig 1a** Axial image (left) showing pulmonary consolidation (arrows) with tiny hyperechoic spots (air bronchogram, arrowhead). Longitudinal image (right) with hypoechoic pneumonic lesion (arrows) above the left hemidiaphragm (D, diaphragm, C, costal arch) and small anechoic pleural effusion. **b** The radiograph shows slight pulmonary consolidation above the left hemidiaphragm and tiny pleural effusion.

**Fig. 1a** A sinistra scansione assiale che dimostra l'addensamento (freccie) ed alcuni minuti spot iperecogeni (broncogramma aereo, testa di freccia). A destra scansione longitudinale (D, diaframma, C, costa) con addensamento ipoecogeno (freccie) in sede basale sinistra con sottile falda di versamento pleurico anecogeno. **b** All'Rx torace tenue e sfumato addensamento basale sinistro in sede paracardiaca, con velatura del seno costofrenico omolaterale.

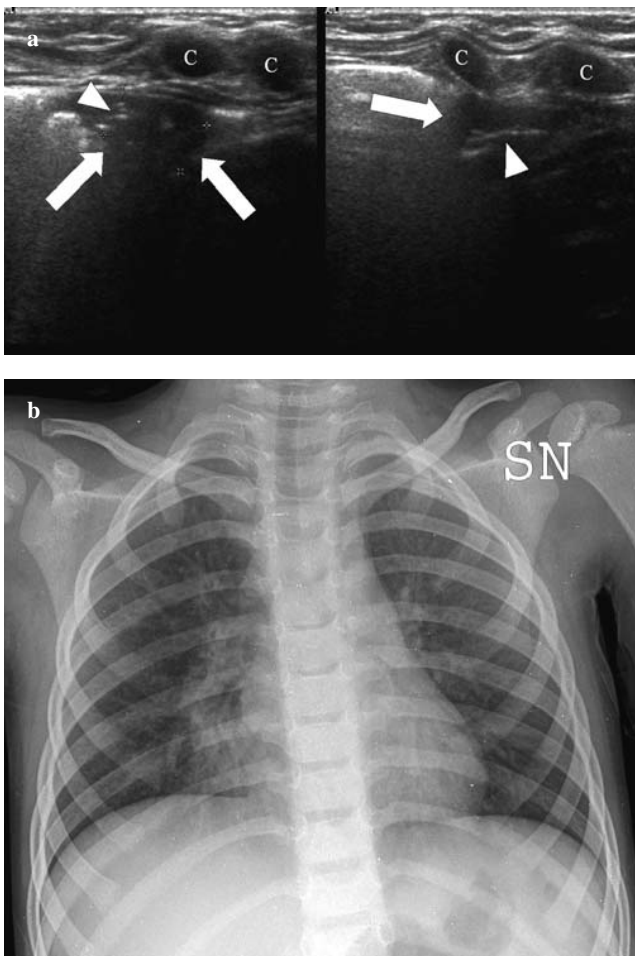
directly because of the interposition of the aerated lung. Another reason for the failure of US to detect disease may be lesions located in areas difficult to reach with US, such as the posterior apical regions that are covered by the scapulae and supraclavicular fossa, and the axillary region. In such cases, however, US may depict indirect signs of

strumentali discordanti con la clinica, o quadri particolarmente gravi ed estesi al radiogramma, può essere utilizzata la tomografia computerizzata.

Da tempo è nota la possibilità di valutare ecograficamente il versamento pleurico, ma solo recentemente [13, 14], grazie anche all'evoluzione tecnologica degli ecografi e delle sonde multifrequenza (che consentono di avere maggiore risoluzione spaziale) si è pensato di utilizzare questa metodica anche per la valutazione del parenchima polmonare [15]. La sensibilità dell'ecografia nell'identificare addensamenti parenchimali (Fig. 1) nel nostro studio nei pazienti pediatrici è stata del 91,67 %, risultando quindi elevata in accordo con i dati della letteratura, che riportano valori nell'ordine dell'88%–90% nonostante questi ultimi si riferiscano a pazienti adulti [14, 16]. Sia il radiogramma del torace che l'ecografia sono state in grado di identificare un ulteriore segno che spesso compare in corso di polmonite: il broncogramma aereo; in particolare con il radiogramma del torace è stato riscontrato nel 29,1% dei casi, mentre in ecografia nel 36,3% dei casi (Fig. 2).

È necessario tuttavia ricordare qualora si tratti di addensamenti perilari, privi di estensione subpleurica e quindi non raggiungibili dagli ultrasuoni, l'ecografia non può visualizzare direttamente il parenchima patologico per l'interposizione del parenchima polmonare areato. Un ulteriore motivo di mancato riconoscimento delle lesioni può essere rappresentato da sedi difficilmente esplorabili con l'ecografia quali le apicali posteriori, coperte dalle scapole e dalla fossa sovraclavare, nonché la regione ascellare. L'ecografia in questi casi potrebbe tuttavia rilevare dei segni indiretti di coinvolgimento parenchimale, per esempio un versamento pleurico che, in base ai dati presenti in letteratura può coesistere nei pazienti con polmonite, a seconda dell'età e delle casistiche tra il 20% ed il 61% dei casi [16]. Nella nostra casistica il versamento è stato riscontrato nel 33,3% dei casi nei quali i radiogrammi del torace riscontrarono un addensamento e nel 68,1% delle ecografie positive per addensamento. L'elevata quantità di versamenti pleurici riscontrati con l'ecografia può essere spiegata dal fatto che soprattutto nei pazienti pediatrici l'ecografia riesce a valutare molto bene anche piccole quantità di versamento a livello dei seni costofrenici, perché questa metodica grazie alle sonde ad alta frequenza ha un'elevata risoluzione spaziale e riesce ad eseguire uno studio diretto della regione d'interesse senza avere la sovrapposizione di altre strutture, come nel caso del radiogramma del torace.

Nei casi di addensamento polmonare molto compatto va enfatizzato il ruolo del color doppler che ha permesso di dimostrare i vasi nel contesto del parenchima polmonare; infatti sia i bronchi ripieni di muco o essudato (broncogramma fluido), sia le strutture vascolari appaiono ipoecogene in B-mode, ma solo queste ultime hanno segnale colore all'esame color doppler (Fig. 3).



**Fig. 2a** Axial images. On the left, an unevenly hypoechoic pulmonary consolidation (arrows) near the chondrocostal cartilage (C), with tiny hyperechoic spots corresponding to an air bronchogram (arrowhead). On the right, pneumonic lesion (arrow) with linear hyperechoic structure resembling an air bronchogram (arrowhead). **b** Radiograph shows right paracardiac and lower perihilar pulmonary consolidation in the middle lobe.

**Fig. 2a** Scansioni assiali. A sinistra addensamento disomogeneamente ipoecogeno (freccie) in sede paracardiaca subito posteriormente alle cartilagini condrocostali (C), con evidenza di alcuni spot iperecogeni, tipo broncogramma aereo (testa di freccia). Nell'immagine a destra posteriormente alle cartilagini condrocostali (C) è presente un addensamento parenchimale (freccia); nel suo contesto immagine lineare iperecogena (testa di freccia) tipo broncogramma aereo. **b** Al radiogramma si apprezza uno sfumato addensamento in sede parailare inferiore-paracardiaca destra in corrispondenza del lobo medio.

parenchymal involvement, such as pleural effusion that has been reported to coexist with pneumonia in 20%–61% of cases, depending on age and patient series [16]. In our experience, pleural effusion was detected in 33.3% of cases with consolidation on chest radiography and in 68.1% with consolidation on US. The greater number of cases of pleural effusion detected with US may be explained by the fact that, especially in children, US is able to clearly depict even small effusions at the costophrenic angles, thanks to the

Abbiamo già ricordato che in 7 pazienti l'ecografia ha identificato versamento pleurico che non era riconoscibile al radiogramma. Questi pazienti, come già anticipato nei risultati, sono stati comunque sottoposti a controllo ecografico fino al completo riassorbimento del versamento, eseguendo quindi ulteriori 11 ecografie toraciche ottenendo dati concordanti con la letteratura, la quale riporta la migliore sensibilità dell'ecografia nella valutazione del versamento pleurico rispetto al radiogramma [17].

Un aspetto peculiare dell'ecografia è inoltre quello di poter anche caratterizzare, entro certi limiti, il tipo di versamento, quanto meno facendoci orientare verso un versamento non organizzato, con aspetto anecogeno o, viceversa, organizzato nel caso sia ad ecostruttura disomogenea, corpuscolata, con presenza di setti iperecogeni nel cui caso può rendersi necessaria l'esecuzione di toracentesi [18, 19]. In un caso il monitoraggio seriato nel tempo mediante ecografia, dimostrando la graduale riduzione e riassorbimento spontaneo del versamento pleurico ha permesso di evitare una toracentesi per il posizionamento del drenaggio pleurico. Viceversa in un ulteriore caso, benché il contenuto del versamento non apparisse ecograficamente corpuscolato, al momento del drenaggio pleurico (eseguito per la mancata risoluzione del quadro clinico) è stato evacuato materiale di aspetto lattescente, francamente purulento. In questo caso quindi l'ecografia avrebbe potuto fuorviare, portando ad un atteggiamento più attendista; naturalmente però il quadro radiologico, così come quello laboratoristico, sono solamente degli aspetti di cui bisogna tenere conto alla luce della clinica nella gestione globale del paziente.

I vantaggi del radiogramma rispetto all'ecografia della parete toracica, a fronte di un'esposizione a radiazioni ionizzanti, sono quelli di permettere una maggiore panoramicità, facilità di esecuzione e refertazione, oltre a permettere una misurazione oggettiva del diametro della lesione. L'ecografia tra i suoi limiti ha l'impossibilità ad esplorare alcune zone (ad esempio la superficie pleurica al di sotto della scapola), l'elevata operatore-dipendenza e tra l'altro anche quando ripetuta sulla stessa apparecchiatura dallo stesso operatore non sempre può essere facile valutare la riduzione dimensionale di un addensamento, specie se questo si estende molto in profondità rispetto alla superficie pleurica. Bisogna inoltre ricordare che dovendo esplorare ecograficamente due emitoraci su tutta la loro estensione superficiale (anteriore, posteriore, laterale), questo esame richiede sicuramente una quantità di tempo maggiore rispetto alla lettura di un radiogramma del torace, pertanto non è facilmente applicabile nel contesto di un servizio di radiologia d'urgenza.

D'altro canto l'ecografia, soprattutto una volta che sia stata individuata la zona patologica, è davvero molto rapida nell'effettuare una valutazione mirata relativa alla presenza o meno di un addensamento e/o di un versamento di prece-

high spatial resolution afforded by high-frequency probes. Additionally, it is always able to depict the region of interest directly without the interposition of other structures.

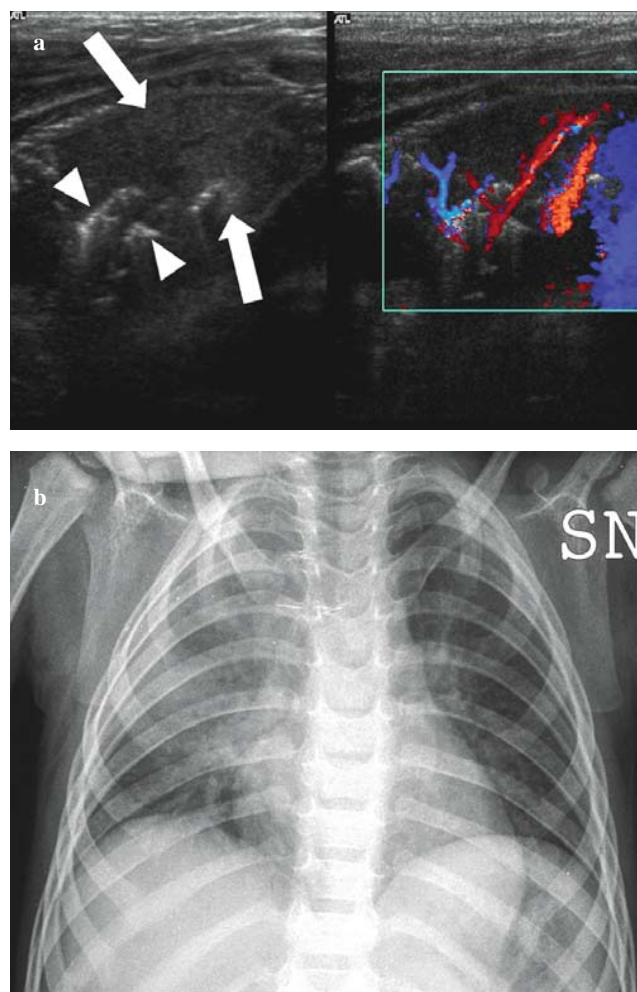
In the case of very compact consolidations, colour Doppler US also plays an important role, as it allows one to visualise vessels within the lung parenchyma. In fact, although both the fluid-filled bronchi (mucus or exudate) and the vascular structures appear hypoechoic on B-mode US, only vascular structures produce a colour flow signal on colour Doppler US (Fig. 3).

In our series, US identified seven cases of pleural effusion that were missed at radiography. These patients underwent serial US monitoring until the effusion was completely reabsorbed. We thus performed 11 chest US scans achieving results comparable with those in the literature, which reports that US is more sensitive than chest radiography in the evaluation of pleural effusion [17].

Another peculiarity of US is its ability to give some indication of the type of effusion by indicating whether it is an unorganised anechoic effusion or, conversely, an organised effusion with an inhomogeneous corpuscular echostructure and hyperechoic septations, which might require a thoracentesis [18, 19]. In one case, serial US monitoring demonstrated the gradual reduction and spontaneous reabsorption of the pleural effusion, thus allowing thoracentesis to be avoided by placing a pleural drainage catheter. In another case, instead, despite the noncorpuscular appearance of the effusion on US, the pleural drainage catheter (performed for persisting clinical signs and symptoms) yielded milky, clearly purulent material. In this case, US could have misled us into adopting a more expectant approach, even though patient management is clearly guided not only by the radiological findings but also by the laboratory data and overall clinical condition.

The advantages of radiography over chest US, despite the exposure to ionising radiation, include a more panoramic view, easier performance and reporting and objective determination of lesion diameter. The limitations of US include its inability to explore certain areas (e.g. the pleural surface beneath the scapula), high operator dependency and the difficulty in evaluating the reduction in size of a consolidation, particularly one extending deep below the pleural surface, even when the procedure is repeated on the same scanner by the same operator. In addition, because the entire surface of the two hemithoraces (anterior, posterior, lateral) need to be explored, US takes longer compared with chest radiography and is therefore poorly suited to emergency radiology settings.

On the other hand, once the diseased area has been identified, US provides a very rapid and targeted evaluation of the presence of a previously detected consolidation and/or effusion, allowing serial monitoring over time, even in response to clinical changes indicating improvement or



**Fig 3a** On the left, axial intercostal image of an inhomogeneous consolidation with prevalently hypoechoic texture (arrows) and air bronchogram (arrowheads). On the right, axial colour Doppler image showing pulmonary vessels inside the consolidation. **b** Chest radiograph shows slight consolidation in the middle-upper right lung field, with pleural extension.

**Fig. 3a** A sinistra scansione intercostale assiale con disomogeneo addensamento ad ecostruttura prevalentemente ipoecogena (frecce) e bronchogramma aereo (teste di freccia). A destra scansione intercostale assiale che all'esame color-Doppler evidenzia i vasi polmonari nel contesto dell'addensamento. **b** Al radiogramma si conferma una sfumata opacità a carico del campo polmonare superiore-medio di destra che si estende fino alla pleura.

dente riscontro, potendo fare più monitoraggi seriati nel tempo, anche in relazione a momenti in cui ci siano delle variazioni della sintomatologia clinica e quindi si sospetti un miglioramento o, viceversa, un peggioramento del quadro. L'ecografia permette inoltre una precisa e rapida valutazione anche dell'evoluzione del versamento pleurico [20]. Nel caso di pazienti molto piccoli talvolta può esser più semplice eseguire l'ecografia, in cui si possono assecondare piccoli movimenti del paziente, esplorabile anche mentre dorme. Paradossalmente un bambino che piange non crea difficoltà insormontabili come nella TC o nel radiogramma



worsening of the clinical picture. Furthermore, US allows a precise and fast assessment of the evolution of the pleural effusion [20]. In very young patients, it may at times be easier to perform US, as small movements can be followed and the patient can be studied even while asleep. Paradoxically, a crying infant does not represent a major problem as occurs with CT or chest radiography, as crying enables the optimal evaluation of diaphragmatic motion with good visibility of the costophrenic angles during deep breathing.

There are some limitations to our study. First, it included a small number of patients, and it is likely that we would have obtained lower sensitivity values if we had analysed a larger patient series with more cases of perihilar consolidation not extending to the pleura. Likewise, had we used a more sensitive reference standard than chest radiography, our results with chest US would no doubt have been less encouraging.

## Conclusions

In consideration of the good sensitivity and positive and negative predictive values in identifying both parenchymal consolidation and pleural effusion, chest US proved to be a promising technique for the detection and follow-up of lung infections and associated pleural effusion. Patients could be spared further radiological examinations that expose them to ionising radiation and which do not provide additional relevant clinical information.

Chest US also provides information about the need for further procedures, such as thoracentesis. US may also be used to guide thoracentesis to reduce the risks associated with the procedure, thereby decreasing morbidity and recovery time [19].

The ease, speed and availability of US could also allow a higher frequency of follow-up examinations during treatment and an earlier detection of disease exacerbations, for example due to drug resistance. This would be beneficial in terms of both a more rational use of economic resources and a more appropriate management of the patient.

**Acknowledgements** The authors thank the entire team of the Clinic of Paediatrics of the Udine University Hospital for their valuable contribution to this study.

**Conflict of interest statement** The authors declare that they have no conflict of interest to the publication of this article.

## References/Bibliografia

1. British Thoracic Society of Standards of Care Committee (2002) BTS guidelines for the management of community acquired pneumonia in childhood. *Thorax* 57 [Suppl 1]:1–24
2. Davies H, Wang E (1996) Reliability of the chest radiograph in the diagnosis of lower respiratory infections in young children. *Pediatr Infect Dis J* 15:600–604
3. Lichtenstein D, Lascols N, Meziere G et al (2004) Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med* 30:276–281

*del torace, in quanto ci permette di avere anche un'ottima valutazione dell'escursione diaframmatica con una buona visibilità dei seni costofrenici durante i profondi respiri.*

*Il nostro studio presenta alcuni limiti. In primo luogo la bassa numerosità, per cui analizzando casistiche più ampie, in cui siano compresi più pazienti con addensamenti periferici senza estensione alla pleura, sarebbe plausibile ottenere valori di sensibilità peggiore. Analogamente anche l'uso di standard di riferimento con valori di sensibilità migliori del radiogramma potrebbero portare a ridimensionare i risultati lusinghieri ottenuti dall'ecografia polmonare nel nostro studio.*

## Conclusioni

*Alla luce dei buoni dati di sensibilità, valore predittivo positivo e negativo riscontrati sia nell'individuare gli addensamenti parenchimali polmonari, che nei confronti del versamento pleurico, l'ecografia toracica si è dimostrata una tecnica promettente per poter individuare e soprattutto seguire nel tempo la patologia polmonare infettiva ed il versamento pleurico associato, evitando di sottoporre i pazienti ad esami radiologici che, oltre all'esposizione a radiazioni ionizzanti, spesso non aggiungerebbero ulteriori informazioni d'interesse clinico rispetto all'indagine ultrasonografica.*

*Inoltre l'ecografia si rivela essere molto promettente anche nel fornire informazioni circa la necessità di ulteriori procedure (ad esempio la toracentesi) potendo anche fungere da guida per la medesima, riducendo anche i rischi legati a tali procedure, decrementando la morbilità e la durata della convalescenza [19].*

*La semplicità, velocità ed accessibilità di questa metodica potrebbe anche favorire una maggiore frequenza nei controlli durante la terapia, come pure identificare più precocemente le riacutizzazioni di malattia, magari per l'insorgenza di resistenze a farmaci, creando benefici sia in termini di migliore uso delle risorse economiche, ma anche contribuendo ad una gestione più oculata del paziente.*

**Ringraziamenti** Si ringrazia tutto lo staff della Clinica Pediatrica dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria di Udine per la preziosa collaborazione fornita in questo lavoro.

4. Targhetta R, Chavagneux R, Burgeois J et al (1992) Sonographic approach to diagnosing pulmonary consolidation. *J Ultrasound Med* 11:667–672
5. Soldati G, Copetti R (2006) *Ecografia toracica*. C.G. Edizioni medico scientifiche, Torino
6. Dorne H (1986) Differentiation of pulmonary parenchymal consolidation from pleural disease using the sonographic fluid bronchogram. *Radiology* 158:41–42
7. Mathis G (1997) Thorax sonography: part II. Peripheral pulmonary consolidation. *Ultrasound Med Biol* 23:1141–1153
8. Gorg C, Seifart U, Gorg K et al (2003) Color doppler sonographic mapping of pulmonary lesions. *J Ultrasound Med* 22:1033–1039
9. Brenner D, Hall E, Phil D (2007) Computed tomography - An increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 357:2277–2284
10. Strauss K, Kaste S (2006) The ALARA (as low as reasonably achievable) concept in pediatric interventional and fluoroscopic imaging: striving to keep radiation doses as low as possible during fluoroscopy of pediatric patients—a white paper executive summary. *Pediatr Radiol* 36 [Suppl 2]:110–112
11. Bernhardt P, Lendl M, Deinzer F (2006) New technologies to reduce pediatric radiation doses. *Pediatr Radiol* 36 [Suppl 2]:212–215
12. Papaioannou G, Young C, Owens C (2007) Multidetector row CT for imaging the paediatric tracheobronchial tree. *Pediatr Radiol* 37:515–529
13. Soldati G (2006) Semeiotica ecografica del polmone. *Radiol Med* 111:507–515
14. Gehmacher O, Mathis G, Kopf A et al (1995) Ultrasound imaging of pneumonia. *Ultrasound Med Biol* 21:1119–1122
15. Beckh S, Lessnau K, Bolcskei P (2002) Real-time chest ultrasonography. *Chest* 122:1759–1773
16. Reissig A, Kroegel C (2007) Sonographic diagnosis and follow-up of pneumonia: a prospective study; *Respiration* 74:537–547
17. Eibenberger K, Dock W (1994) Quantification of pleural effusions: sonography versus radiography. *Radiology* 191:681–684
18. Wernecke K (2000) Ultrasound study of the pleura. *Eur Radiol* 10:1515–1523
19. Pinotti K, Ribeiro S (2006) Thorax ultrasound in the management of pediatric pneumonias complicated with empyema. *Pediatr Surg Int*. 22:775–778
20. Dietrich C, Hirche T, Schreiber D et al (2003) Sonographie von Pleura und Lunge (Ultrasonography of pleura and lung). *Ultraschall in Med* 24:303–311