

L'Ecografia Polmonare: quale ruolo in Pneumologia Pediatrica?

Lung ultrasound: is there a role in pediatric pulmonology?

Alessandro Volpini, Vittorio Romagnoli, Federica Zallocco, Salvatore Cazzato

SOD Pediatria ad indirizzo Pneumo-Endocrino-Reumato-Immuno-Infettivologico, Dipartimento Materno-Infantile, Presidio Ospedaliero di Alta Specializzazione "G. Salesi", AOU Ancona

Corrispondenza: Alessandro Volpini **e-mail:** alessandro.volpini@ospedaliriuniti.marche.it

Riassunto: L'ecografia rappresenta una metodica ancora relativamente giovane nel panorama diagnostico delle malattie polmonari. L'esame ecografico è eseguito ed interpretato dal clinico in "real time" e direttamente al letto del malato come un'estensione dell'esame fisico; questa metodologia è stata definita "point-of-care" US (POCUS). Si tratta di un esame non invasivo, privo di radiazioni ed a basso costo, fattori che rendono tale metodica molto attraente specialmente in età pediatrica. Molte sono le condizioni patologiche in cui viene applicata, ciononostante l'utilità dell'ecografia polmonare è tuttora oggetto di studio e sta progressivamente ampliando i suoi orizzonti.

Parole chiave: ecografia polmonare; bambini; POCUS; patologie polmonari.

Summary: Ultrasound represents a relatively young diagnostic tool in the panorama of lung diseases. The ultrasound examination is performed and interpreted by clinician in "real time" and directly at the patient's bedside as an extension of physical examination; this method has been called "point-of-care" ultrasound (POCUS). It is a non-invasive, radiation-free and low-cost exam, factors that make this method very attractive especially in children. There are many pathological conditions in which it is applied, nevertheless the usefulness of lung ultrasound is still being studied and is progressively expanding its horizons.

Keywords: children; lung ultrasound; point-of-care ultrasound; lung diseases.

INTRODUZIONE

L'uso dell'ecografia (US) in medicina si è sviluppato dalla seconda metà del secolo scorso. Negli ultimi anni l'ecografia viene eseguita ed interpretata in "real time" direttamente al letto del malato come un'estensione dell'esame obiettivo; questa metodica è definita "point-of-care" ultrasound (POCUS) (1).

I campi di applicazione della POCUS sono cresciuti negli anni e recentemente l'ecografia polmonare (*lung ultrasound* - LUS) *point-of-care* è diventata un argomento di grande interesse soprattutto in ambito pediatrico. Si tratta di un esame non invasivo, privo di radiazioni ed a basso costo eseguito a letto del malato, che può, in alcuni casi, sostituire la radiografia del torace (CR) e può ridurre l'uso della TC del torace in specifici scenari clinici (2). Poiché i bambini possono essere 10 volte più sensibili alle radiazioni ionizzanti rispetto agli adulti, l'uso della LUS in sostituzione della CR in campo pediatrico può costituire uno strumento diagnostico alternativo.

"IL LINGUAGGIO" IN ECOGRAFIA POLMONARE

Gli ultrasuoni si propagano attraverso i tessuti a velocità diverse a seconda del loro coefficiente di attenuazione. L'aria e l'osso hanno un alto coefficiente di attenuazione che provoca un grande riflesso degli ultrasuoni creando alcuni artefatti. A causa del suo elevato contenuto di aria, lo studio ecografico del polmone era considerato non realizzabile in passato. Lichtenstein et al. alcuni anni fa hanno descritto per la prima volta come è possibile studiare il polmone attraverso l'uso degli ultrasuoni (3). Dopo un periodo di resistenza da parte del mondo medico, l'utilità della LUS è stata riconosciuta a livello globale.

Nel 2012, Volpicelli et al. hanno pubblicato le raccomandazioni internazionali su come eseguire ed interpretare in maniera standardizzata l'esame ecografico del polmone (4). Una sonda *convex* a bassa frequenza (3–5 MHz) è in genere consigliata per la scansione dei polmoni negli adulti, mentre le sonde ad alta frequenza sono un'opzione non solo per la visualizzazione dettagliata degli strati pleurici e delle piccole lesioni sub-pleuriche, ma anche per l'intero esame nei pazienti pediatrici (Figura 1.a).

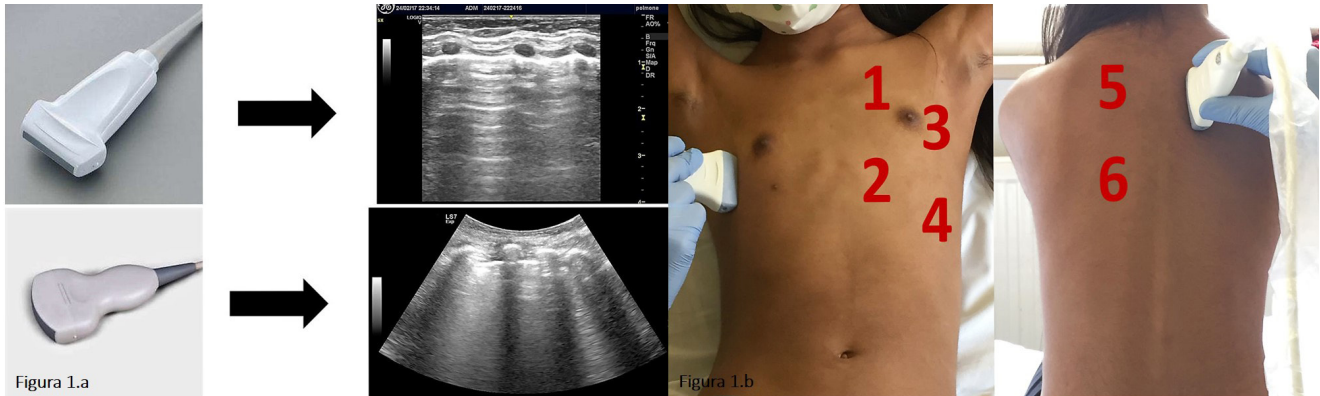


Fig. 1.a: Tipologie di sonde utilizzabili per la scansione del polmone e relative immagini: lineare ad alta frequenza (in alto) e *convex* a bassa frequenza (in basso). **Fig. 1.b:** aree di scansione. Aree 1 e 2: anteriore superiore e inferiore. Aree 3 e 4: laterale superiore e basale. Aree 5 e 6: posteriore superiore e inferiore. Ogni area va scansionata su entrambi i lati destro e sinistro.

I bambini devono essere posizionati supini e la sonda deve essere applicata perpendicolarmente alla parete toracica in direzione cranio-caudale, con il reperi della sonda sempre rivolto verso la testa del paziente. Vi è una vasta gamma di descrizioni della tecnica ecografica in letteratura, e la maggior parte di esse suggeriscono di scansionare le aree del torace seguendo le “linee anatomiche”, come mostrato in Figura 1.b. Nel paziente “critico” il torace dovrebbe essere diviso in otto zone, superiore e inferiore anteriormente e superiore e basale lateralmente su entrambi i lati. Nel paziente “stabile” invece è possibile eseguire un esame più completo (scansionando anche le aree posteriori), come mostrato nella Figura 1.b, soprattutto se l'obiettivo è escludere la presenza di consolidamenti nei campi posteriori (4).

Il primo passo in LUS è l'identificazione della linea pleurica, che è facilmente visibile come una linea iperecogena orizzontale posizionata tra due coste e leggermente più in profondità. Le coste e la linea pleurica delineano un pattern caratteristico noto come “*sliding pleurico*”, in cui le pleure viscerale e parietale scivolano l'una sull'altra durante la respirazione. Il polmone normalmente aerato è caratterizzato da un'immagine artefattuale chiamata linea A, una linea orizzontale generata dal riverbero dell'ultrasuono tra il tessuto polmonare aerato e la pleura. La linea pleurica è un forte riflettore che crea questi artefatti ripetitivi. Il pattern ecografico normale è definito dalla presenza dello “*sliding pleurico*” associato alla presenza di linee A, definite come una o più linee orizzontali (A-lines) che si trovano più in profondità rispetto alla linea pleurica (Figura 2.a) (4, 5).

La presenza di linee verticali note come linee B (*B-lines*) sono definite come artefatti di riverbero iperecogeni simili ad un laser ed indicano un processo alveolare o interstiziale (6). Alcune (meno di tre) linee B isolate possono essere presenti nel polmone normale e non avere alcun significato patologico. Le linee B si muovono con la respirazione e cancellano le linee A. La presenza di linee B numerose o confluenti assume un significato clinico che discuteremo di seguito (Figura 2.b).

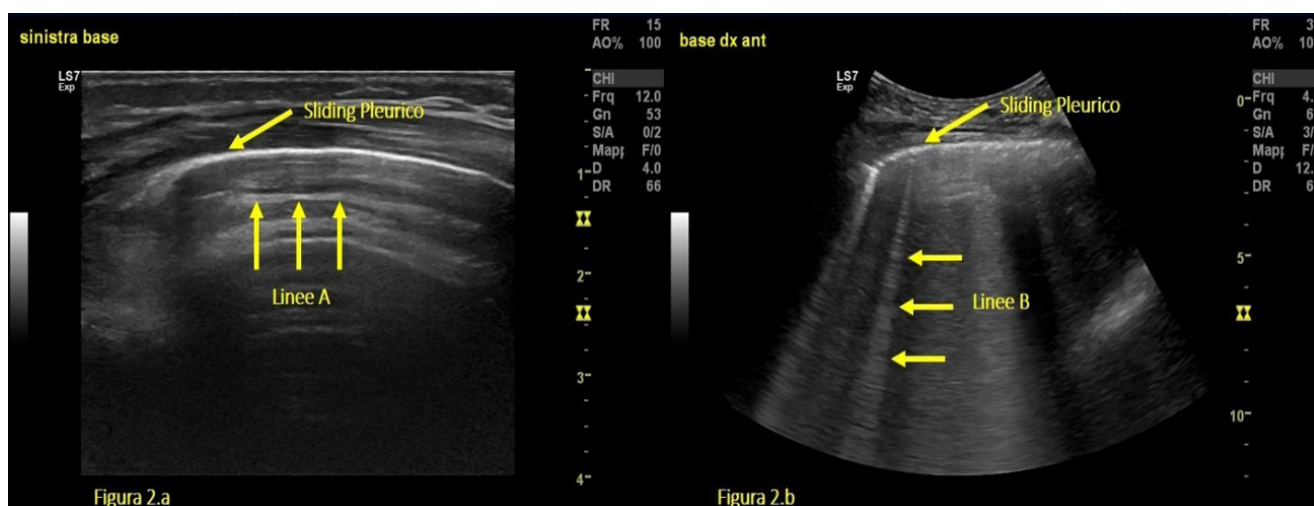


Fig. 2.a: “sliding pleurico” o *sliding sign*. Il movimento pleurico è sincrono con l’espansione del polmone quindi con la ventilazione. Le linee A sono costituite da riverberi orizzontali che si ripetono regolarmente in profondità, equidistanti come moltiplicazioni del piano pleurico stesso. **Fig. 2.b:** le linee B sono artefatti a coda di cometa iperecogene che originano dalla linea pleurica, cancellano le linee A e si muovono con lo *sliding*.

LA LUS NELLA PATOLOGIA POLMONARE INFETTIVA

La patologia polmonare infettiva costituisce tutt’oggi una delle principali cause di ospedalizzazione in età pediatrica e spesso necessita di ricorso alle tecniche di imaging tradizionali nel *work-up* diagnostico. Le lesioni polmonari riducono l’aerazione e la compliance del polmone, creando diversi tipi di artefatti. Artefatti specifici suggeriscono condizioni patologiche specifiche che possono essere sospettate in base alle caratteristiche fisiopatologiche ed ecografiche (7). Descriveremo di seguito alcune delle condizioni in cui l’ecografia polmonare può risultare un valido ausilio in età pediatrica, escludendo in questa sede la patologia neonatale di cui vi è ampia letteratura in merito.

BRONCHIOLITE

La bronchiolite rappresenta l’esempio più caratteristico di “sindrome interstiziale ecografica”. In questa condizione, l’interstizio è interessato da un aumento dell’acqua extravascolare, che comporta una perdita di aerazione. Potrebbe essere ancora presente un certo grado di aerazione data l’eterogeneità di questa patologia. La presenza di linee B (e la perdita di linee A) è altamente indicativa di una malattia polmonare interstiziale. Le linee B separate sono espressione di un edema interstiziale moderato, mentre le linee B coalescenti indicano un edema interstiziale grave (8). Una zona di polmone positiva per sindrome interstiziale è definita dalla presenza di tre o più linee B in un piano longitudinale tra due coste (corrispondente ad un’area di scansione). Gli studi hanno dimostrato che la LUS nella bronchiolite mostra un pattern bilaterale regolare caratterizzato dalla presenza di più linee B che tendono a fondersi. Uno studio osservazionale su 104 bambini ha mostrato che vi è corrispondenza tra la valutazione clinica e lo *score* ecografico. La diagnosi clinica e la gravità della malattia concordavano con i risultati ecografici nel 90,6% dei casi. L’ecografia ha anche consentito l’identificazione dei pazienti che necessitavano di supporto di ossigeno con alta specificità (98,7%) e sensibilità (96,6%) (9-10). Questo studio ha arruolato 52 bambini con diagnosi clinica di bronchiolite e 52 senza segni o sintomi di malattia (gruppo di controllo). Tutti i pazienti nel gruppo di controllo avevano una ecografia normale, mentre solo cinque pazienti con bronchiolite avevano l’esame normale. Tra i pazienti con bronchiolite, l’ecografia ha evidenziato che l’84% (44 su 52) dei bambini presentava consolidazioni polmonari sub-pleuriche ($P < 0,001$ vs. gruppo di controllo), il 65% (34 su 52) linee B compatte ($P < 0,001$ vs. gruppo di controllo), il 44% (23 su 52) aveva anomalie

della linea pleurica ($P < 0,001$ vs. gruppo di controllo), il 5% (3 su 52) un versamento pleurico minimo e solo il 2% (1 su 52) un piccolo pneumotorace. Lo studio ha evidenziato, specialmente nelle forme più gravi di bronchiolite, una migliore correlazione tra la gravità clinica ed i risultati dell'ecografia rispetto alla radiografia tradizionale (9).

Biagi e collaboratori in un recente studio prospettico hanno valutato l'accuratezza diagnostica e l'affidabilità della LUS nel rilevare la presenza di polmonite nei bambini ospedalizzati con bronchiolite. Sono stati valutati 87 bambini con bronchiolite e 25 bambini con sospetto di polmonite (29%). È stata eseguita la CR ed entro 12 ore una LUS da un pediatra esperto. Il "gold standard" era la diagnosi ex-post della polmonite fatta sulla base della presentazione clinica, dei test di laboratorio, della CR e del decorso clinico secondo le raccomandazioni delle *British Thoracic Society*. La sensibilità e la specificità della LUS per la diagnosi di polmonite sono state rispettivamente del 100% e dell'84%, mentre la CR ha mostrato una sensibilità del 96% e una specificità dell'87%. Quando sono stati considerati come polmoniti solo i consolidamenti > 1 cm, la specificità della LUS aumentava al 98% e la sensibilità diminuiva all'80% (11).

POLMONITI

Il quadro ecografico della polmonite è rappresentato da una regione ipoecogena sub-pleurica o con ecogenicità simile a quella di un tessuto (epatizzazione), che differisce dal pattern ecografico circostante costituito da tessuto aerato. Un confine irregolare separa il polmone consolidato da quello normalmente aerato. Spesso sono presenti broncogrammi aerei che possono essere dinamici o statici, contribuendo a distinguere tra polmonite e atelettasia. I broncogrammi aerei dinamici sono tipici delle polmoniti (Figura 3) (12). Il consolidamento alveolare deve raggiungere la pleura per essere identificato con l'ecografia ed essere visibile all'interno di una finestra intercostale. Yilmaz et al. hanno dimostrato che l'ecografia può essere un'alternativa alla CR come strumento diagnostico nei bambini con polmonite acquisita in comunità e appare leggermente più sensibile della stessa CR. In questo studio, i risultati della LUS erano compatibili con la diagnosi di polmonite in 142 (95,3%) dei 149 bambini con polmonite, mentre i risultati della CR in 132 (88,5%) (13). Un'altra meta-analisi ha confrontato invece l'uso della LUS con diversi standard di riferimento per diagnosticare la polmonite. La sensibilità della LUS (96%) è risultata buona e sovrapponibile a quella ottenuta utilizzando sia criteri clinici che radiologici, il che implica che la LUS è una tecnica affidabile quando si sospetta una polmonite (14). La LUS inoltre può essere eseguita quotidianamente e consente di monitorare l'effetto delle terapie antibiotiche ed il miglioramento della ventilazione polmonare senza la necessità di ricorrere ad indagini irradianti. La riparazione del tessuto polmonare può essere osservata attraverso una modifica del quadro ecografico che passa da un quadro di impegno alveolare a un quadro più interstiziale fino alla normalizzazione (Figura 3).

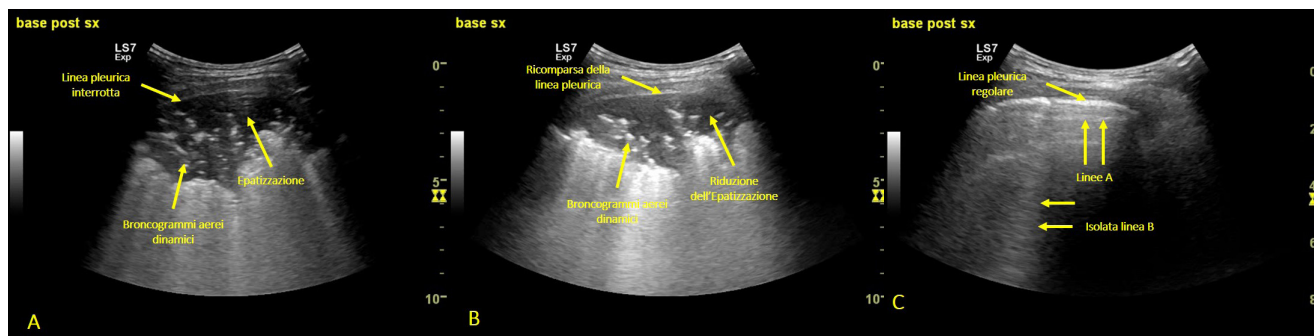


Fig. 3: bambina di 10 anni con polmonite lobare sinistra da *Streptococco Pneumoniae*. **A:** presenza di area di epatizzazione con scomparsa della linea pleurica e presenza di broncogrammi aerei dinamici. **B:** dopo 5 gg di terapia antibiotica si nota ricomparsa della linea pleurica e riduzione dell'epatizzazione. **C:** dopo 14 gg di terapia antibiotica si nota pressoché normalizzazione del pattern ecografico con linea pleurica regolare, presenza di isolate linee B nel contesto di regolari linee A.

VERSAMENTI PLEURICI

L'uso dell'ecografia per la valutazione dello spazio pleurico è una metodica ben consolidata. Nelle terapie intensive la POCUS può aggiungere preziose informazioni e consentire ai medici di prendere rapidamente decisioni come ad esempio eseguire la toracentesi, nonché di guidare la procedura in sicurezza. Un piccolo studio pediatrico ha dimostrato che la LUS è più sensibile rispetto alla CR nella diagnosi dei versamenti pleurici e dei consolidamenti. L'ecografia si è dimostrata diagnostica nel 68,1% dei bambini contro il 33,3% della CR. La LUS può evidenziare chiaramente anche piccole effusioni a livello degli sfondati costofrenici, specialmente nei bambini, grazie all'elevata risoluzione spaziale ottenuta dalle sonde ad alta frequenza (15). L'ecografia è inoltre in grado di fornire informazioni sulle caratteristiche del versamento (liquido, corpuscolato etc.) e sul grado di organizzazione dello stesso, elementi fondamentali nel contesto clinico per guidare i processi terapeutici.

LA LUS NELLA PATOLOGIA POLMONARE NON INFETTIVA

Atelettasie

L'atelettasia polmonare è una complicanza frequente in diverse patologie polmonari ed è uno dei motivi più comuni di difficoltà nello svezzamento dalla ventilazione meccanica. Il collasso polmonare può manifestarsi come una perdita da lieve a moderata dell'aerazione del polmone che si presenta ecograficamente con la presenza di linee B da isolate a coalescenti, fino alla completa atelettasia caratterizzata dalla presenza di consolidamenti sub-pleurici con broncogrammi aerei statici. Lichtenstein et al. hanno dimostrato come l'assenza dello "sliding pleurico" e la concomitante associazione delle vibrazioni sincronizzate dell'attività cardiaca sulla linea pleurica rappresentasse un quadro ecografico patognomonico, espressione di atelettasia completa (16). Tale segno, chiamato "Lung Pulse", ha una sensibilità del 93% e una specificità del 100% per la diagnosi di atelettasia sinistra completa evidenziata a seguito di intubazione bronchiale selettiva destra in pazienti senza precedenti malattie polmonari e riscontrabile in una fase molto precoce e prima rispetto alle alterazioni radiologiche. In un recente studio prospettico Ullmann et al. hanno valutato l'utilità della LUS rispetto alla CR nell'identificare le atelettasie in 40 bambini affetti da malattie neuromuscolari (NMD). L'atrofia muscolare spinale di tipo 1 era la NMD più comune, seguita dall'atrofia muscolare spinale di tipo 2 e dalle miopatie congenite. Più della metà dei soggetti presentava atelettasie, più spesso nel lobo polmonare inferiore sinistro. La LUS ha mostrato una sensibilità del 57% ed una specificità dell'82% con valore predittivo positivo dell'80% e valore predittivo negativo del 61% rispetto alla CR nell'identificare le aree atelettasiche. Gli autori hanno concluso che l'uso della LUS dovrebbe essere raccomandato per identificare precocemente le atelettasie nei bambini con NMD favorendo in questi pazienti fragili una riduzione dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti (17).

Malattie Polmonari Interstiziali

Le malattie polmonari interstiziali (ILD) rappresentano un corteo ampio ed eterogeneo di malattie polmonari rare e complesse in età pediatrica, il cui iter diagnostico risulta spesso gravato dalla necessità di ricorrere ad esami invasivi come la biopsia polmonare e la TC torace ad alta risoluzione (HRCT) che tutt'oggi è considerata la tecnica di *imaging* di riferimento nei bambini. Urbankowska et al. in uno studio prospettico controllato hanno valutato l'utilità della LUS in 20 bambini con tachipnea persistente dell'infanzia (PTI), la più comune tra leILD dell'infanzia. In tutti i bambini la LUS è stata eseguita in tre momenti: al momento dell'inclusione (tempo 0), dopo 6 e dopo 12 mesi di *follow-up*. I risultati della LUS al tempo 0 sono stati quindi confrontati con le immagini HRCT (eseguita anch'essa al tempo 0), con una LUS eseguita in bambini sani della stessa età (gruppo di controllo) e con la LUS eseguita negli stessi pazienti a 6 e 12 mesi di *follow-up*. Le linee B sono state evidenziate in tutti i bambini con PTI ed in 11

(55%) soggetti di controllo ($P < .001$). Il numero totale delle linee B, il numero massimo di linee B in qualsiasi spazio intercostale, la distanza tra le linee B e lo spessore pleurico sono risultati significativamente aumentati nei bambini con PTI rispetto ai controlli. È stata riscontrata un'irregolarità della linea pleurica in tutti i pazienti con PTI ed in nessuno dei bambini sani. Il confronto tra i reperti HRCT ed i risultati della LUS ha rivelato una correlazione significativa inducendo gli autori a concludere che seppure la LUS non sia in grado di sostituire la HRCT per la diagnosi di PTI, l'integrazione della valutazione ecografica potrebbe essere utile nel *follow-up* di questi bambini (18).

LA LUS NEL BAMBINO CON CARDIOPATIA

Edema Polmonare Cardiogeno

Diversi studi hanno dimostrato che almeno il 58% dei pazienti pediatrici settici può presentare disfunzione cardiaca clinicamente rilevante (19). La presenza di linee B (e la perdita di linee A) è altamente suggestiva di edema polmonare interstiziale. L'entità clinica e radiologica dell'edema polmonare cardiogeno si identifica con la formazione di linee B che sono dapprima diradate, più numerose alle basi del polmone, successivamente estese su tutta la superficie polmonare e confluenti. Trattandosi di un edema idrostatico, le linee B compaiono dapprima alle basi e poi si estendono ai campi medi e superiori del polmone (*wet lung* cardiogeno). Per la stessa ragione nell'edema cardiogeno non si osservano "aree di risparmio" tipiche di altre forme di edema polmonare non cardiogeno (Figura 4) (20).

Inoltre, importante è il ruolo che la LUS riveste quando eseguita in associazione all'ecocardiografia. Una recente *consensus* di esperti ha confermato come, nei pazienti adulti con dispnea acuta, la LUS combinata con l'ecocardiografia sia utile nel formulare una diagnosi differenziale dell'edema. Secondo gli esperti l'utilizzo della LUS permette una migliore accuratezza diagnostica rispetto alla sola valutazione clinica e alla CR nell'identificazione dell'eziologia cardiogena dell'edema nei reparti di pronto soccorso (21).

Il Bambino Cardiochirurgico

L'incidenza postoperatoria di atelettasie nei bambini sottoposti a chirurgia per cardiopatie congenite è stata segnalata tra il 41% e il 71% dei casi a causa della complessa condizione cardiopolmonare sottostante, degli interventi chirurgici, del *bypass* cardiopolmonare e della gestione dell'anestesia (22).

Sebbene la maggior parte delle atelettasie indotte dall'anestesia nei bambini sottoposti a interventi chirurgici minori e con funzione polmonare e cardiaca relativamente normali non siano gravi e possano risolversi spontaneamente senza conseguenze avverse, le atelettasie gravi possono influire non solo sullo scambio dei gas, ma anche sugli esiti a lungo termine a causa di una ventilazione meccanica prolungata e dell'infiammazione polmonare. Una diagnosi precoce, una valutazione accurata ed interventi ottimali sono fondamentali per ridurre o eliminare il rischio di atelettasie. Sun et al. in un recente studio prospettico hanno valutato l'efficacia dell'utilizzo della LUS come strumento per determinare l'effetto delle manovre di reclutamento con pressione positiva di fine espirazione incrementale (iPEEPRM) nel ridurre l'incidenza

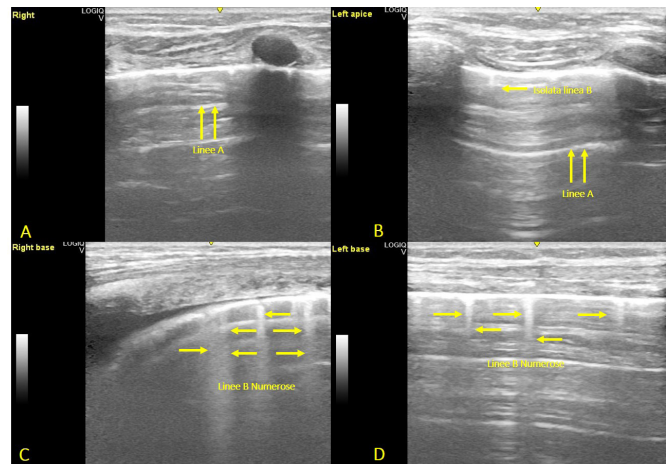


Fig. 4: bambina di 12 anni con edema polmonare acuto da insufficienza cardiaca. Si nota come trattandosi di un edema idrostatico, le linee B siano più evidenti alle basi polmonari (C, D) rispetto agli apici (A, B).

di atelettasie nei bambini con cardiopatia congenita sottoposti ad intervento chirurgico. Sono stati valutati 36 bambini di età compresa tra 3 mesi e 5 anni sottoposti ad intervento cardiocirurgico. L'iPEEPRM è stata eseguita con aumento graduale della PEEP (0-5-10-15 cmH₂O) prima e dopo l'intervento chirurgico. L'esame ecografico è stato eseguito da anestesisti esperti (con più di 50 LUS eseguite) 2 volte prima dell'intervento (1 minuto dopo l'inizio della ventilazione meccanica senza iPEEPRM e 1 minuto dopo l'inizio della ventilazione meccanica con iPEEPRM) e 2 volte dopo l'intervento (la prima subito alla fine dell'intervento chirurgico e la seconda 1 minuto dopo l'inizio della ventilazione meccanica con iPEEPRM). L'*outcome* primario era valutare l'incidenza di atelettasie. L'iPEEPRM è stata applicata con successo nel 92% (33/36) dei bambini prima dell'intervento e nel 71% (24/34) dopo l'intervento. L'incidenza di atelettasie è stata significativamente ridotta dall'iPEEPRM dal 76% al 15% prima dell'intervento e dal 92% al 38% dopo l'intervento ($P < .001$), quindi in questo lavoro l'iPEEPRM ha ridotto significativamente l'incidenza di aree atelettasiche valutate ecograficamente (23).

CONCLUSIONI

L'ecografia polmonare è una tecnica relativamente recente nel panorama diagnostico della pneumologia pediatrica ed ha dimostrato di essere efficace nella valutazione delle alterazioni polmonari. La *point-of-care* LUS sta cambiando il modo di esaminare, diagnosticare e curare i pazienti. La velocità di esecuzione, la qualità delle immagini e la possibilità di ripetere l'esame più volte in maniera sicura e confortevole per il paziente e l'operatore fanno in modo che l'ecografia polmonare rappresenti un esame diagnostico sempre più diffuso nella pratica clinica. Di sicuro rappresenta uno strumento economicamente valido che può migliorare l'assistenza, ma sono necessari ulteriori studi per dimostrarne la reale utilità in alcuni scenari, specialmente nei bambini.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Dominguez A, Gaspar HA. *Point-of-care lung ultrasound in paediatric critical and emergency care*. J Paediatr Child Health 2018; 54(9): 945-952.
- (2) Lichtenstein DA. *Lung ultrasound in the critically ill*. Curr Opin Crit Care 2014; 20: 315-22.
- (3) Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, et al. *The comet-tail artifact: An ultrasound sign ruling out pneumothorax*. Intensive Care Med 1999; 25: 383-8.
- (4) Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M et al. *International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound*. Intensive Care Med 2012; 38: 577-91.
- (5) O'Brien AJ, Brady RM. *Point-of-care ultrasound in paediatric emergency medicine*. J Paediatr Child Health 2016; 52: 174-80.
- (6) Volpicelli G, Cardinale L, Garofalo G, et al. *Usefulness of lung ultrasound in the bedside distinction between pulmonary edema and exacerbation of COPD*. Emerg Radiol 2008; 15: 145-51.
- (7) Xirouchaki N, Magkanas E, Vaporidi K et al. *Lung ultrasound in critically ill patients: Comparison with bedside chest radiography*. Intensive Care Med 2011; 37: 1488-93.
- (8) Arbelot C, Ferrari F, Bouhemad B, et al. *Lung ultrasound in acute respiratory distress syndrome and acute lung injury*. Curr Opin Crit Care 2008; 14: 70-4.
- (9) Caiulo VA, Gargani L, Caiulo S et al. *Lung ultrasound in bronchiolitis: Comparison with chest X-ray*. Eur J Pediatr 2011; 170: 1427-33.
- (10) Basile V, di Mauro A, Scalini E et al. *Lung ultrasound: A useful tool in diagnosis and management of bronchiolitis*. BMC Pediatr 2015; 15:63.
- (11) Biagi C, Pierantoni L et al. *Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children with acute bronchiolitis*. BMC Pulm Med 2018; 18(1):191.

- (12) Pereda MA, Chavez MA, Hooper-Miele CC et al. *Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children: A meta-analysis*. Pediatrics 2015; 135: 714-22.
- (13) Yilmaz HL, Özkaya AK, Sarı Gökay S, et al. *Point-of-care lung ultrasound in children with community acquired pneumonia*. Am J Emerg Med 2017; 35: 964-9.
- (14) Hu QJ, Shen YC, Jia LQ et al. *Diagnostic performance of lung ultrasound in the diagnosis of pneumonia: A bivariate meta-analysis*. Int J Clin Exp Med 2014; 7: 115-21.
- (15) Iuri D, de Candia A, Bazzocchi M. *Evaluation of the lung in children with suspected pneumonia: Usefulness of ultrasonography*. Radiol Med 2009; 114: 321-30.
- (16) Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, et al. *The "lung pulse": An early ultrasound sign of complete atelectasis*. Intensive Care Med 2003; 29: 2187-92.
- (17) Ullmann N, D'Andrea ML et al. *Lung ultrasound: A useful additional tool in clinician's hands to identify pulmonary atelectasis in children with neuromuscular disease*. Pediatr Pulmonol 2020; 55(6): 1490-1494.
- (18) Urbankowska E, Urbankowski T, et al. *Lung ultrasound-a new diagnostic modality in persistent tachypnea of infancy*. Pediatr Pulmonol 2020; 55(4): 1028-1036.
- (19) Brierley J, Carcillo JA, Choong K et al. *Clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock: 2007 update from the American College of Critical Care Medicine*. Crit Care Med 2009; 37: 666-88.
- (20) Soldati G, Copetti R. *Ecografia Toracica*. Seconda Edizione. Edizioni Medico-Scientifiche 2019: 152.
- (21) Price S, Platz E, Cullen L et al. *Expert consensus document: Echocardiography and lung ultrasonography for the assessment and management of acute heart failure*. Nat Rev Cardiol 2017; 14: 427-40.
- (22) Lagier D, Fischer F, Fornier W, et al. *PROVECS investigators. A perioperative surgeon - controlled open - lung approach versus conventional protective ventilation with low positive end - expiratory pressure in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass (PROVECS): study protocol for a randomized controlled trial*. Trials 2018; 19(1): 624.
- (23) Sun L, Wu L, et al. *Lung ultrasound evaluation of incremental PEEP recruitment maneuver in children undergoing cardiac surgery*. Pediatr Pulmonol 2020; 55(5): 1273-1281.