

REVISIONE

Radiografia del torace ed ecografia polmonare nella pratica clinica pediatrica

Chest radiography and lung POCUS in pediatric practice

Federica Rodofile¹, Paolo Del Greco^{2,*}, Vittorio Romagnoli³,
Alessandro Volpini³

* CORRISPONDENZA:

paolo.delgreco@meyer.it

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2026.05

¹ SOD Broncopneumologia, IRCCS AOU Meyer, Firenze, Italia

² SOD Broncopneumologia e Endoscopia Respiratoria, IRCCS AOU Meyer, Firenze, Italia

³ SOD Pediatria, Dipartimento Materno-Infantile, Ospedale Pediatrico ad Alta Specializzazione "G. Salesi" AOU di Ancona, Ancona, Italia

RIASSUNTO

Le malattie respiratorie rappresentano la principale causa di ospedalizzazione in età pediatrica, rendendo fondamentale la scelta appropriata della metodica di *imaging*. La radiografia del torace rimane l'esame di prima linea per la sua ampia disponibilità, ma il suo utilizzo deve essere clinicamente giustificato per minimizzare l'esposizione alle radiazioni ionizzanti nei bambini, particolarmente radiosensibili. L'ecografia polmonare point-of-care (POCUS) si è affermata come valida alternativa priva di radiazioni, con sensibilità diagnostica superiore (91–96%) rispetto alla radiografia (89–91%) nella diagnosi di polmonite pediatrica e con particolare utilità nella bronchiolite, nel monitoraggio dei versamenti pleurici e delle complicanze polmonari.

SUMMARY

Respiratory diseases are the leading cause of hospitalization in pediatric patients, making appropriate imaging selection essential. Chest radiography is the first-line imaging modality due to its wide availability, but its use must be clinically justified to minimize ionizing radiation exposure in children, who are particularly radiosensitive. Point-of-care lung ultrasound (POCUS) has emerged as a valid radiation-free alternative, with higher diagnostic sensitivity (91–96%) compared to chest radiography (89–91%) for pediatric pneumonia diagnosis, and is particularly useful in bronchiolitis, pleural effusion monitoring, and pulmonary complications.

INTRODUZIONE

Le malattie respiratorie rimangono la principale causa di ospedalizzazione nella popolazione pediatrica. La radiografia del torace è la modalità di *imaging* più utilizzata nella pratica clinica grazie alla sua ampia disponibilità, alla rapidità di acquisizione e alla dose di radiazioni relativamente bassa rispetto alla tomografia computerizzata (1). Tuttavia, il suo utilizzo deve essere clinicamente giustificato per bilanciare il beneficio diagnostico con i potenziali rischi dati dalle radiazioni ionizzanti nei bambini. Sebbene la radiologia convenzionale abbia a lungo rappresentato la principale tecnica diagnostica utilizzata, l'avvento dell'ecografia polmonare point-

PAROLE CHIAVE

Radiografia torace; POCUS; polmonite; radiazioni ionizzanti; complicanze polmonari.

KEY WORDS

Chest radiography; POCUS; pediatric pneumonia; radiation exposure; pulmonary complications.

of-care (POCUS) ha trasformato significativamente l'approccio clinico al letto del paziente consegnando uno strumento non invasivo, privo di radiazioni e altamente sensibile, la cui validità è stata stabilita da consensi internazionali, come le linee guida del 2020 che ne standardizzano l'uso nella gestione della bronchiolite e della polmonite acquisita in comunità (2, 3).

Questa revisione valuta i ruoli della radiografia del torace e della POCUS nei pazienti pediatrici, concentrandosi sulle indicazioni comuni, sui reperti tipici e su come la presentazione clinica guidi la scelta dell'*imaging*. L'esposizione alle radiazioni, l'età del paziente e il contesto clinico sono item da valutare in particolare con la possibilità di utilizzare la POCUS che emerge come strumento complementare o alternativo per la valutazione toracica.

PRINCIPALI RISULTATI DEGLI STUDI ESAMINATI

Nella pratica clinica è importante andare a valutare la riduzione dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti. Questa attenzione si basa sulla maggiore sensibilità dei bambini alle radiazioni e sulla nota relazione dose-risposta tra esposizione alle radiazioni e rischio di sviluppo di tumori, supportando le raccomandazioni di favorire tecniche non ionizzanti e di minimizzare le dosi di radiazioni quando l'*imaging* ionizzante non può essere evitato (1, 2).

OTTIMIZZAZIONE DELLA DOSE DI RADIAZIONI

L'esposizione alle radiazioni dovrebbe essere mantenuta al livello più possibile e adattata alle dimensioni del bambino e all'indicazione clinica per evitare complicanze future. Diverse tecniche sono impiegate routinariamente per minimizzare la dose mantenendo tuttavia la qualità diagnostica dell'immagine. Nei lattanti, l'utilizzo di un kilovoltaggio di picco più elevato (≥ 60 kV) riduce il kerma in aria e la dose efficace di oltre il 50% senza compromettere la qualità diagnostica (3). Per i bambini di peso compreso tra 10 e 20 kg, impostazioni di tensione del tubo più basse (75 kVp) consentono una riduzione della dose del 35% rispetto ai protocolli standard (4). Protocolli ottimizzati che regolano i parametri in base all'età e alle dimensioni possono ridurre la dose di radiazioni di fattori da 1,5 a oltre 5 nelle diverse fasce d'età pediatriche (5).

Sono essenziali quindi sistemi centralizzati di monitoraggio della dose e programmi di controllo qualità per

tracciare l'esposizione alle radiazioni, confrontare le dosi tra ospedali e individuare modalità per migliorare i protocolli di *imaging* (6). Questi sistemi aiutano gli ospedali a stabilire limiti di dose standard chiamati Livelli Diagnostici di Riferimento (LDR) necessari per mantenere le radiazioni al livello più basso possibile, identificare dosi insolitamente alte o basse e monitorare i cambiamenti nel tempo (6). Misure regolari di controllo qualità, inclusa la valutazione delle dimensioni del campo, della collimazione, del posizionamento del paziente e dei parametri di esposizione, sono essenziali per garantire che le radiografie del torace pediatriche siano ottenute con la dose di radiazioni più bassa possibile mantenendo la qualità diagnostica.

INTERPRETAZIONE RADIOGRAFICA E INDICAZIONI CLINICHE PER LA RADIOGRAFIA DEL TORACE

Secondo la European Society of Paediatric Radiology (ESPR) è fondamentale eseguire una valutazione sistematica quando si esegue una radiografia del torace in particolare valutando i volumi polmonari, le anomalie parenchimali focali, i contorni mediastinici, la silhouette cardiaca, la configurazione delle vie aeree centrali e della presenza di aria o liquido pleurico. La comprensione dello sviluppo polmonare è fondamentale per un'interpretazione accurata, in particolare nei neonati e nei prematuri i cui polmoni sono spesso fisiologicamente e morfologicamente immaturi (1).

I segni radiografici chiave di uno sviluppo polmonare incompleto si possono riassumere in volumi polmonari ridotti, opacità reticolo-granulose diffuse, broncogrammi aerei e ispessimento interstiziale. Nei neonati pretermine con sindrome da distress respiratorio, le radiografie del torace mostrano una ridotta espansione polmonare e opacità granulari fini e simmetriche (a vetro smerigliato) in tutto il polmone, spesso accompagnate da prominenti broncogrammi aerei dovuti al collasso alveolare e al deficit di surfattante (1). In pazienti con quadro di displasia broncopolmonare, specialmente nei neonati di peso molto basso alla nascita, le radiografie possono rivelare opacità reticolari grossolane, aree di iperinflazione e talvolta zone cistiche, sebbene nell'era attuale della terapia con surfattante i reperti siano spesso più sfumati e riflettano un arresto dello sviluppo alveolare e vascolare piuttosto che la classica fibrosi (1).

In contesti non emergenziali (ambulatoriali), la radiografia del torace di routine non è un esame necessario per la conferma di sospetta polmonite acquisita in comunità (CAP) nei bambini clinicamente stabili (2). L'*imaging*

dovrebbe essere riservata ai pazienti con ipossiemia, distress respiratorio significativo o fallimento della terapia antibiotica iniziale per valutare complicanze tra cui il versamento parapneumonico, lo pneumotorace o la polmonite necrotizzante (2). Nei bambini con wheezing, infiltrati radiografici sono rilevati solo nel 4,9% complessivo, e la radiografia del torace non è routinariamente raccomandata a meno che non siano presenti febbre o ipossiemia (2). Le radiografie del torace non possono distinguere in modo affidabile la CAP virale da quella batterica e raramente influenzano le decisioni di ospedalizzazione nei bambini in buone condizioni generali (2). Le radiografie del torace non dovrebbero inoltre essere considerate esami di routine per il *follow-up* di pazienti in assenza di complicanze, ma dovrebbero essere ottenute in coloro che non mostrano miglioramento clinico entro 48-72 ore dall'inizio della terapia antibiotica (2). Nei neonati e nei lattanti, la radiografia del torace è uno strumento di ausilio per valutare la sindrome da distress respiratorio, la tachipnea transitoria del neonato e la sindrome da aspirazione di meconio (1, 2).

INTERPRETAZIONE ECOGRAFICA E INDICAZIONI CLINICHE PER L'ECOGRAFIA POLMONARE POINT-OF-CARE

La POCUS è una modalità di *imaging* validata e priva di radiazioni utilizzabili in diverse condizioni respiratorie pediatriche (7).

Tale tecnica si fonda sull'analisi della linea pleurica, un'interfaccia iperecogena generata dalla differenza di impedenza acustica tra pleura e polmone aerato. In condizioni fisiologiche, i foglietti viscerale e parietale producono il fenomeno dinamico del lung sliding ed artefatti orizzontali di riverbero denominati linee A.

La perdita della linearità pleurica, classificata e descritta in base a spessore e presenza di nodularità, e la comparsa di artefatti verticali (linee B o code di cometa) segnalano processi di deaerazione e/o ispessimento dell'interstizio. Tali reperti, seppur aspecifici, risultano essenziali per l'identificazione di processi patologici sottostanti.

Bronchiolite virale acuta: il paradigma della sindrome interstiziale ecografica

In questa condizione, l'infezione determina un processo infiammatorio delle vie aeree distali che coinvolge l'interstizio, con un conseguente aumento dell'essudato extra-vascolare e una progressiva perdita di aerazione polmonare. Dal punto di vista ecografico, questo fenomeno si traduce nella comparsa delle linee B e nella

contestuale scomparsa delle fisiologiche linee A. La distribuzione e la morfologia di tali artefatti riflettono fedelmente la gravità dell'impegno polmonare: la presenza di linee B separate è indice di un edema interstiziale moderato, mentre la loro confluenza (linee B coalescenti) indica un quadro di severità maggiore. 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 a un'area di scansione). Studi condotti su ampie coorti pediatriche hanno dimostrato che la POCUS possiede una sensibilità del 96,6% e una specificità del 98,7% nell'identificare i piccoli pazienti che necessitano di supporto respiratorio (19), mostrando una correlazione diretta tra la severità clinica e lo score ecografico, volto a quantificare il grado di deaerazione polmonare attraverso la valutazione della distorsione della linea pleurica e la progressione degli artefatti da linee B isolate a consolidamenti parenchimali.

Polmonite acquisita in comunità e complicanze

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 rispettivamente tra polmonite e atelettasia.

Diversi studi e successive metanalisi hanno consolidato il ruolo della lung ultrasound (LUS) come valida alternativa alla radiografia del torace nella gestione della polmonite pediatrica, avendo evidenziato una elevata sensibilità diagnostica e la capacità di identificare lesioni millimetriche non rilevabili con l'*imaging* tradizionale. L'integrazione di score quantitativi, come il *PedP-ne score*, potrebbe permettere inoltre di correlare l'estensione del danno alla gravità clinica ed eventualmente di monitorare, quando indicato, la riparazione tissutale e l'efficacia della terapia antibiotica, garantendo un *follow-up* accurato e privo di rischi radiologici.

L'efficacia della metodica si estende in modo significativo al monitoraggio del *follow-up* e alla gestione delle complicanze necrotiche e suppurative. L'ascenso polmonare, ad esempio, si manifesta ecograficamente come una struttura capsulata ben delimitata che circonda un nucleo ipoecogeno, privo di vascolarizzazione al Color-Doppler. È possibile distinguere l'ascenso polmonare dal piopneumotorace attraverso la presenza di tutti e quattro i segni specifici: livelli idro-aerei, movimen-

to sincrono dei livelli idro-aerei con gli atti respiratori, perdita dello sliding pleurico sopra il livello idro-aereo e il segno delle micro bolle sospese (zone puntiformi iperecogene con ombre che si muovono casualmente con il movimento respiratorio all'interno del versamento pleurico) (9). Studi recenti hanno confermato che le misurazioni degli ascessi effettuate tramite LUS correlano strettamente con i reperti della tomografia computerizzata (TC), suggerendo l'ecografia come strumento di elezione per monitorare l'efficacia della terapia antibiotica ed evitare ripetute esposizioni radianti (9).

Un ambito di fondamentale importanza clinica è rappresentato dalla gestione dell'empima, un versamento pleurico infetto, purulento e spesso lobulato dovuto a un'infezione parenchimale che si diffonde alla cavità pleurica. L'*imaging* ecografico si rivela in questo contesto superiore alla radiologia tradizionale grazie alla sua capacità di caratterizzare il versamento empiematoso come una lesione ipoecogena caratterizzata dalla presenza di setti e tralci di fibrina, spesso associata ad aree di atelettasia passiva del parenchima circostante (10). L'accuratezza della LUS nella valutazione quantitativa e qualitativa del versamento ne fa uno strumento decisivo nella diagnosi differenziale ma anche nella definizione dell'iter terapeutico, potendo guidare l'eventuale trattamento chirurgico con posizionamento un drenaggio e l'opportunità di instillare agenti fibrinolitici intrapleurici (10). Inoltre, le recenti linee guida ESPID del 2023 attribuiscono alla LUS un ruolo anche nel *follow-up* a lungo termine: nei quadri più severi, l'ecografia è raccomandata insieme ai test di funzionalità respiratoria per monitorare l'eventuale effusione residua e verificare il ripristino della corretta motilità diaframmatica, garantendo una valutazione completa del recupero funzionale (11).

Una frontiera di crescente interesse è l'ecografia con mezzo di contrasto (CEUS), che si sta affermando come un complemento alla LUS standard in ambito pediatrico. Sebbene l'esperienza clinica sia ancora in fase di consolidamento, le evidenze attuali sottolineano l'efficacia della CEUS nella valutazione delle polmoniti complicate. Studi condotti su popolazioni pediatriche hanno dimostrato come questa metodica permetta di identificare precocemente aree di polmonite necrotizzante attraverso la visualizzazione di aree non vascolarizzate all'interno della consolidazione parenchimale (12).

Atelettasia e il segno del “Lung Pulse”

L'atelettasia polmonare rappresenta una complicanza di molteplici patologie e uno dei principali ostacoli allo svezzamento dal supporto ventilatorio. Il collasso al-

veolare si manifesta con consolidamenti sub-pleurici e broncogrammi statici e con l'identificazione del “*Lung Pulse*”, ovvero la percezione delle vibrazioni cardiache sulla linea pleurica in assenza di *sliding* polmonare. Questo segno è patognomonico di un'atelettasia completa e possiede una sensibilità del 93% e una specificità del 100%, permettendo una diagnosi precoce, spesso anticipando i segni rilevabili alla radiografia standard (13).

Malattie polmonari interstiziali rare e malformazioni

L'utilità della LUS si sta espandendo anche verso le patologie interstiziali rare dell'età pediatrica, tradizionalmente studiate tramite biopsia o TC torace. Nella Tachipnea Persistente dell'Infanzia, la LUS ha evidenziato una correlazione significativa con i reperti TC, caratterizzata da alterazioni della linea pleurica e da un incremento patologico della densità delle linee B rispetto ai controlli sani.

Sebbene la TC rimanga il *gold standard* diagnostico nel sospetto iniziale, la LUS si propone come metodica utile nel monitoraggio longitudinale, minimizzando l'onere radiologico cumulativo (1).

Infine, nell'ambito delle malformazioni polmonari congenite, pur con i limiti fisici legati alla profondità di alcune lesioni, la LUS può offrire informazioni vitali in casi selezionati, come l'identificazione di sovrainfezioni di malformazioni cistiche a localizzazione superficiale.

ACCURATEZZA DIAGNOSTICA E LIMITAZIONI

La possibilità di revisionare le immagini radiografiche da parte di più medici rappresenta un vantaggio chiave della radiografia del torace rispetto a metodiche operatore-dipendenti come l'ecografia polmonare. L'interpretazione assistita da algoritmi di deep learning migliora sensibilità e accuratezza diagnostica rispetto alla lettura convenzionale, in particolare per lesioni come noduli, consolidamenti e pneumotorace, come dimostrato da studi multicentrici e meta-analisi; la specificità rimane simile e sono necessari ulteriori studi di validazione (2, 3).

Le meta-analisi mostrano che la radiografia del torace raggiunge una sensibilità dell'89–91% e una specificità del 90–91% nella diagnosi di polmonite nei bambini, mentre l'ecografia polmonare dimostra una sensibilità leggermente superiore (91–96%) e una specificità analoga (90–93%) (3, 4).

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE CON INDICAZIONI PER LA PRATICA CLINICA PEDIATRICA QUOTIDIANA

In linea con i principi del Choosing Wisely, la selezione dell'*imaging* nei pazienti pediatrici dovrebbe essere guidata da un'attenta valutazione del rapporto rischio-beneficio, con l'indicazione clinica, l'età del paziente ed il sospetto clinico che orientano la scelta della tecnica di *imaging* più adeguata. La POCUS è emersa come una valida alternativa priva di radiazioni alla radiografia del torace per la diagnosi di polmonite e condizioni respiratorie pediatriche (4-7).

Nei contesti di pronto soccorso, la POCUS può accelerare la diagnosi e ha dimostrato di ridurre l'utilizzo della radiografia del torace senza aumentare i casi di polmonite non diagnosticata o gli eventi avversi. La maggior parte degli attuali algoritmi dell'intelligenza artificiale in radiologia è sviluppata per gli adulti e richiede validazione e ottimizzazione per le popolazioni pediatriche, in particolare per i bambini più piccoli, come sottolineato dalla dichiarazione congiunta multisocietaria dell'American College of Radiology, della European Society of Paediatric Radiology, della Society for Pediatric Radiology e di altre società scientifiche, che evidenzia la necessità di dataset specifici per l'età pediatrica, classificazioni di sicurezza e strategie di implementazione personalizzate per garantire un utilizzo sicuro ed efficace nei bambini (3-5). Nella pratica clinica quotidiana, si dovrebbe evitare di eseguire radiografia del torace routinariamente nei bambini in buone condizioni generali con sospetta polmonite acquisita in comunità ed in questo caso considerare la POCUS come esame di prima linea se disponibile e se ci sono operatori con adeguata formazione. La radiografia del torace andrebbe riservata a pazienti con ipossiemia, distress respiratorio significativo o fallimento terapeutico. È importante in questi casi collaborare con i colleghi radiologi per utilizzare protocolli standardizzati

e ottimizzati al fine di minimizzare l'esposizione alle radiazioni mantenendo la qualità diagnostica, come raccomandato dalla Pediatric Infectious Diseases Society e dalla Infectious Diseases Society of America, dall'American College of Radiology e dalla European Society of Paediatric Radiology.

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere conflitti di interesse da segnalare.

Finanziamenti

Questo studio non ha ricevuto finanziamenti esterni né supporto economico da enti pubblici o privati.

Disponibilità dei dati pubblicati

I dati a supporto dei risultati di questo studio sono disponibili all'interno dell'articolo.

Conformità etica nella sperimentazione su soggetti umani e animali

Non sono stati condotti esperimenti su esseri umani o animali nell'ambito di questo lavoro.

Dichiarazione di originalità e integrità scientifica

Il manoscritto è originale e scientificamente integro, e non sussistono elementi di plagio.

Contributo degli autori

Tutti gli autori hanno partecipato alla stesura e alla revisione del manoscritto. FR ha revisionato la letteratura scientifica e valutato la biografia; AV e VR hanno discusso la traccia della POCUS; PD ha contribuito alla revisione critica della versione finale dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

1. Fancourt N, Deloria Knoll M, Barger-Kamate B, de Campo J, de Campo M, Diallo M, et al. Standardized Interpretation of Chest Radiographs in Cases of Pediatric Pneumonia From the PERCH Study. Clin Infect Dis. 2017;64(suppl_3):S253-S261. doi: 10.1093/cid/cix082.
2. Na F, Wang Y, Tian C, Zhang H, Jing Y, Ke X, et al. Diagnostic accuracy of various imaging modalities for children with pneumonia: a systematic review and network meta-analysis. Eur Respir Rev. 2025;34(178):250161. doi: 10.1183/16000617.0161-2025.
3. Balk DS, Lee C, Schafer J, Welwarth J, Hardin J, Novack V, et al. Lung ultrasound compared to chest X-ray for diagnosis of pediatric pneumonia: A meta-analysis. Pediatr Pulmonol. 2018;53(8):1130-9. doi: 10.1002/ppul.24020.
4. Lovrenski J, Raissaki M, Plut D, Alexopoulou E, Görkem SB, Ozcan HN, et al. ESR Essentials: imaging of common paediatric pulmonary diseases-practice recommendations by the European Society of Paediatric Radiology.

- gy. *Eur Radiol.* 2025;35(8):5037-52. doi: 10.1007/s00330-024-11268-4.
5. Williams GJ, Macaskill P, Kerr M, Fitzgerald DA, Isaacs D, Codarini M, McCaskill M, Prelog K, Craig JC. Variability and accuracy in interpretation of consolidation on chest radiography for diagnosing pneumonia in children under 5 years of age. *Pediatr Pulmonol.* 2013;48(12):1195-200. doi: 10.1002/ppul.22806.
 6. Venkatakrishna SSB, Stadler JAM, Kilborn T, le Roux DM, Zar HJ, Andronikou S. Evaluation of the diagnostic performance of physician lung ultrasound versus chest radiography for pneumonia diagnosis in a peri-urban South African cohort. *Pediatr Radiol.* 2024;54(3):413-24. doi: 10.1007/s00247-023-05686-7.
 7. Goodman D, Crocker ME, Pervaiz F, McCollum ED, Steenland K, Simkovich SM, et al. Challenges in the diagnosis of paediatric pneumonia in intervention field trials: recommendations from a pneumonia field trial working group. *Lancet Respir Med.* 2019;7(12):1068-83. doi: 10.1016/S2213-2600(19)30249-8.
 8. Shi C, Xu X, Xu Y. Systematic review and meta-analysis of the accuracy of lung ultrasound and chest radiography in diagnosing community acquired pneumonia in children. *Pediatr Pulmonol.* 2024;59(12):3130-47. doi: 10.1002/ppul.27221.
 9. Yan JH, Yu N, Wang YH, Gao YB, Pan L. Lung ultrasound vs chest radiography in the diagnosis of children pneumonia: Systematic evidence. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(50):e23671. doi: 10.1097/MD.00000000000023671.
 10. American Academy of Pediatrics Committee on Pediatric Emergency Medicine, Section on Radiology; American College of Emergency Physicians Pediatric Emergency Medicine Committee; American College of Radiology; Marin JR, Lyons TW, Claudius I, et al. Optimizing Advanced Imaging of the Pediatric Patient in the Emergency Department: Technical Report. *J Am Coll Radiol.* 2024;21(7):e37-e69. doi: 10.1016/j.jacr.2024.03.016.
 11. Claes AS, Clapuyt P, Menten R, Michoux N, Dumitriu D. Performance of chest ultrasound in pediatric pneumonia. *Eur J Radiol.* 2017;88:82-7. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.12.032.
 12. Marin JR, Rodean J, Hall M, Alpern ER, Aronson PL, Chaudhari PP, et al. Trends in Use of Advanced Imaging in Pediatric Emergency Departments, 2009-2018. *JAMA Pediatr.* 2020;174(9):e202209. doi: 10.1001/jamapediatrics.2020.2209.
 13. Drummond D, Marquant F, Zanelli E, Lozach C, Boddart N, Taam RA, et al. Radiation-free and injection-free imaging of the paediatric chest using a magnetic resonance imaging protocol including zero time echo sequence (3D-ZTE). *Eur J Pediatr.* 2024;183(10):4297-308. doi: 10.1007/s00431-024-05678-1.
 14. Gorkem SB, Coskun A, Yikilmaz A, Zurakowski D, Mulkern RV, Lee EY. Evaluation of pediatric thoracic disorders: comparison of unenhanced fast-imaging-sequence 1.5-T MRI and contrast-enhanced MDCT. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;200(6):1352-7. doi: 10.2214/AJR.12.9502.
 15. Sodhi KS, Ciet P, Vasanawala S, Biederer J. Practical protocol for lung magnetic resonance imaging and common clinical indications. *Pediatr Radiol.* 2022;52(2):295-311. doi: 10.1007/s00247-021-05090-z.
 16. Konietzke P, Mueller J, Wuennemann F, Wagner WL, Schenk JP, Alrajab A, et al. The value of chest magnetic resonance imaging compared to chest radiographs with and without additional lung ultrasound in children with complicated pneumonia. *PLoS One.* 2020;15(3):e0230252. doi: 10.1371/journal.pone.0230252.
 17. Ultrasound and Magnetic Resonance Imaging in Thoracic Tuberculosis in the Pediatric Population: Moving Beyond Conventional Radiology. *Pediatric Radiology.* 2023. Sodhi KS, Kritsaneeapaiboon S, Jana M, Bhatia A.
 18. Lung and Large Airway Imaging: Magnetic Resonance Imaging Versus Computed Tomography. *Pediatric Radiology.* 2022. Liszewski MC, Ciet P, Winant AJ, Lee EY.
 19. Basile V, Di Mauro A, Scalini E, Comes P, Lofù I, Mostert M, Tafuri S, Manzionna MM. Lung ultrasound: a useful tool in diagnosis and management of bronchiolitis. *BMC Pediatr.* 2015;15:63. doi: 10.1186/s12887-015-0380-1.