

Aprimorando a Avaliação do Edema Pulmonar na Cardiopatia Congênita Pediátrica: O Papel da Ultrassonografia Pulmonar

Improving Pulmonary Edema Assessment in Pediatric Congenital Heart Disease: The Role of Lung Ultrasonography

Yasemin Nuran Donmez,¹ Derya Bako,¹ Safak Alpat,¹ Dilek Giray,¹ Serdar Epcacan¹

Van Training and Research Hospital,¹ Van – Turquia

Resumo

Fundamento: O edema pulmonar é uma complicação clinicamente significativa em crianças com cardiopatia congênita (CC). Ocorre com maior frequência em casos complexos e está associado a internações prolongadas. A identificação precoce é essencial devido ao seu impacto direto nos desfechos clínicos.

Objetivos: Avaliar a ultrassonografia pulmonar (USP) como ferramenta diagnóstica para edema pulmonar e identificar fatores clínicos e laboratoriais associados em crianças com CC.

Métodos: Foram incluídas crianças com CC submetidas à USP entre setembro de 2020 e setembro de 2023. Os achados da USP foram comparados com dados clínicos, resultados de radiografia de tórax e níveis de peptídeo natriurético tipo B (BNP). Os pacientes foram classificados de acordo com a categoria fisiopatológica (hiperfluxo pulmonar, hipertensão pulmonar ou outras).

Resultados: Foram avaliadas 62 crianças, com mediana de idade de 5,5 meses (intervalo interquartil, 4-10,1 meses). Hiperfluxo pulmonar foi identificado em 49 pacientes (79%), hipertensão pulmonar em sete (11,3%) e outras condições fisiopatológicas em seis (9,7%). O nível mediano de BNP foi 815,5 pg/mL. O edema pulmonar foi detectado em 36 pacientes (58%) pela radiografia de tórax e em 33 pacientes (53%) pela USP. Observou-se sobreposição significativa, uma vez que 79% dos pacientes com USP positiva também apresentaram edema na radiografia de tórax ($p < 0,001$). Em contraste, apenas 34,5% dos pacientes com USP negativa apresentaram evidência radiográfica de edema. O edema pulmonar esteve significativamente associado a infecções recorrentes do trato respiratório inferior, baixo peso, índice de massa corporal abaixo de -2 desvios-padrão e níveis elevados de BNP. A análise de regressão logística multivariada identificou falha no crescimento como preditor independente de edema pulmonar. Os achados da radiografia de tórax permaneceram como o principal fator associado ao edema pulmonar.

Conclusão: A USP é um método confiável e livre de radiação para a detecção de edema pulmonar em crianças com CC. A identificação de fatores de risco associados pode facilitar o reconhecimento precoce de pacientes vulneráveis e apoiar intervenções clínicas oportunas e adequadas.

Palavras-chave: Cardiopatias Congênitas; Edema Pulmonar; Radiografia Torácica; Insuficiência Cardíaca.

Abstract

Background: Pulmonary edema is a clinically significant complication in children with congenital heart disease (CHD). It occurs more frequently in complex cases and is associated with prolonged hospital stays. Early identification is essential because of its direct impact on clinical outcomes.

Objectives: To evaluate lung ultrasonography (LUS) as a diagnostic tool for pulmonary edema and to identify associated clinical and laboratory factors in children with CHD.

Methods: Children with CHD who underwent LUS between September 2020 and September 2023 were included. LUS findings were compared with clinical data, chest radiography results, and B-type natriuretic peptide (BNP) levels. Patients were classified according to pathophysiological category (pulmonary overflow, pulmonary hypertension, or other).

Results: A total of 62 children were evaluated, with a median age of 5.5 months (interquartile range, 4-10.1 months). Pulmonary overflow was identified in 49 patients (79%), pulmonary hypertension in seven (11.3%), and other pathophysiological conditions in six.

Correspondência: Yasemin Nuran Donmez •

Van Training and Research Hospital – Pediatric Cardiology – Van İpekyolu Edremit Van, 65170 – Turquia

Email: yaseminnurandonmez@gmail.com

Artigo recebido em 22/05/2025, revisado em 18/11/2025, aceito em 11/02/2026

Editor responsável pela revisão: Vitor Guerra

DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20250322>

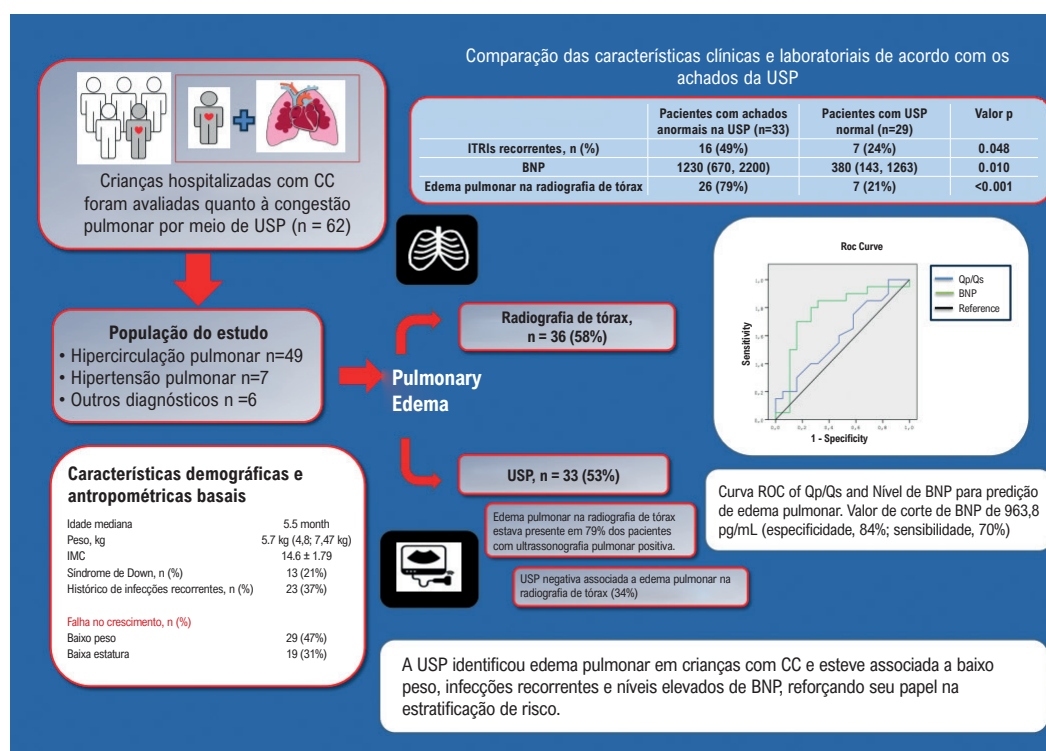
(9.7%). The median BNP level was 815.5 pg/mL. Pulmonary edema was detected in 36 patients (58%) by chest radiography and in 33 patients (53%) by LUS. A significant overlap was observed, as 79% of patients with positive LUS findings also demonstrated edema on chest radiography ($p < 0.001$). In contrast, only 34.5% of patients with negative LUS findings had radiographic evidence of edema. Pulmonary edema was significantly associated with recurrent lower respiratory tract infections, underweight status, body mass index below -2 standard deviations, and increased BNP levels. Multivariate logistic regression analysis identified failure to thrive as an independent predictor of pulmonary edema. Chest radiography findings remained the primary factor associated with pulmonary edema.

Conclusion: LUS is a reliable, radiation-free modality for detecting pulmonary edema in children with CHD. Identification of associated risk factors may facilitate early recognition of vulnerable patients and support timely, appropriate clinical interventions.

Keywords: Congenital Heart Defects; Pulmonary Edema; Thoracic Radiography; Heart Failure.

Full texts in English - <https://abccardiol.org/en/>

Figura Central: Aprimorando a Avaliação do Edema Pulmonar na Cardiopatia Congênita Pediátrica: O Papel da Ultrassonografia Pulmonar



Arq Bras Cardiol. 2026; 123(3):e20250322

BNP: peptídeo natriurético tipo B; CC: cardiopatia congênita; IMC: índice de massa corporal; ITRIs: infecções do trato respiratório inferior; ROC: característica de operação do receptor (curva em inglês); USP: ultrassonografia pulmonar.

Introdução

A identificação precoce e precisa do edema pulmonar é essencial para otimizar os desfechos clínicos em crianças com cardiopatia congênita (CC). A congestão pulmonar contribui para complicações respiratórias, internações prolongadas e deterioração clínica antes da intervenção cirúrgica. Na CC, o edema pulmonar decorre do aumento do fluxo sanguíneo pulmonar, do aumento da pressão hidrostática capilar ou da drenagem linfática prejudicada. Esses mecanismos comprometem a membrana alvéolo-

capilar em razão de alterações nas pressões hidrostática e oncótica.¹

Embora a radiografia de tórax permaneça o método de imagem convencional para avaliar a congestão pulmonar, apresenta sensibilidade limitada e especificidade apenas moderada, o que restringe sua capacidade de detectar sobrecarga hídrica precoce.² Além disso, exames radiográficos repetidos resultam em exposição cumulativa à radiação, o que levanta preocupações quanto à segurança a longo prazo, especialmente em populações pediátricas

Artigo Original

vulneráveis. Essas limitações têm estimulado a investigação de estratégias alternativas de imagem que permitam a detecção mais precoce e segura do edema pulmonar.

A ultrassonografia pulmonar (USP) tem se destacado como um método de imagem promissor, não invasivo, de baixo custo, reprodutível e livre de radiação, com alta sensibilidade para detectar congestão pulmonar.^{3,4} Sua aplicabilidade à beira leito e a capacidade de avaliação dinâmica e em tempo real da aeração pulmonar a tornam particularmente adequada para a prática pediátrica. Além do papel diagnóstico, a USP pode auxiliar na determinação da necessidade e da urgência de intervenções terapêuticas e fornecer informações prognósticas. Embora a USP já tenha sido explorada no manejo em terapia intensiva de crianças com CC, ainda são necessárias evidências adicionais para consolidar seu desempenho diagnóstico na avaliação da congestão pulmonar.⁵⁻⁷

O objetivo principal deste estudo foi avaliar o edema pulmonar por meio da USP em crianças com CC e correlacionar seus achados com a radiografia de tórax e parâmetros clínicos relevantes, incluindo peptídeo natriurético tipo B (BNP), índice de massa corporal (IMC) e histórico de recorrência de infecções do trato respiratório inferior (ITRIs). Ao examinar essas associações, buscou-se esclarecer se a USP pode atuar como método de imagem complementar ou alternativo na avaliação pré-operatória da congestão pulmonar nessa população pediátrica de alto risco.

Métodos

Delineamento do estudo

Este estudo transversal retrospectivo foi conduzido no Hospital X entre setembro de 2020 e setembro de 2023. O objetivo foi investigar a associação entre os achados da USP e a apresentação clínica, a radiografia de tórax e os parâmetros laboratoriais em crianças com diagnóstico de CC. A aprovação ética foi obtida junto ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos local (Aprovação nº 2023/19-01).

População do estudo e coleta de dados

Foram incluídos pacientes pediátricos hospitalizados com CC que realizaram USP como parte da avaliação clínica por suspeita de congestão pulmonar. Os pacientes estavam internados na unidade de internação ou foram avaliados no pronto-socorro devido à deterioração clínica. Todos os pacientes elegíveis que atenderam aos critérios de inclusão durante o período do estudo foram incluídos na análise. Devido ao delineamento observacional retrospectivo, não foi realizado cálculo prévio do tamanho da amostra nem análise de poder estatístico.

Dados demográficos predefinidos, características clínicas e achados diagnósticos foram obtidos a partir dos prontuários hospitalares. Os critérios de exclusão incluíram histórico de prematuridade, sepse, hipertensão pulmonar idiopática ou primária, síndrome do desconforto respiratório agudo, pneumonia, doença pulmonar intersticial e outras condições que afetassem a hemodinâmica (por exemplo, insuficiência hepática ou renal).

Foram registradas as seguintes variáveis: sexo, estatura, peso, IMC, presença de síndromes genéticas, uso de medicações e intervenções cirúrgicas prévias. A CC foi categorizada em três grupos fisiopatológicos: hiperfluxo pulmonar, hipertensão pulmonar e outras condições (Tabela 1). Anemia e hipoalbuminemia foram definidas de acordo com valores de referência específicos para a idade. Hiponatremia foi definida como sódio sérico < 135 mmol/L.

Radiografia de tórax e ultrassonografia pulmonar

Todos os pacientes, exceto dois casos pós-operatórios com hipertensão venosa pulmonar, foram avaliados no período pré-operatório. O momento da realização dos exames de imagem (USP e radiografia de tórax) não foi padronizado.

Os exames ultrassonográficos e a interpretação das radiografias de tórax foram realizados por um radiologista pediátrico experiente, que estava cego para os diagnósticos, as características clínicas e os demais resultados de imagem dos pacientes.

Tabela 1 – Classificação da cardiopatia congênita de acordo com o mecanismo fisiopatológico

Categoria fisiopatológica	Diagnóstico	n
Hiperfluxo pulmonar (n = 49)	Comunicação interventricular	29
	Defeito do septo atrioventricular	11
	Persistência do canal arterial	4
	Drenagem anômala total das veias pulmonares	4
	Transposição corrigida congenitamente das grandes artérias com insuficiência grave da valva atrioventricular	1
Hipertensão pulmonar (n = 7)	Hipertensão pulmonar secundária	5
	Hipertensão venosa pulmonar (obstrução venosa pulmonar pós-operatória; coarctação da aorta pós-operatória com estenose mitral)	2
Outros (n = 6)	Atresia tricúspide	3
	Tetralogia de Fallot	2
	Atresia pulmonar	1

As radiografias de tórax foram avaliadas quanto a sinais de edema pulmonar e congestão vascular, incluindo cefalização dos vasos pulmonares, cardiomegalia, linhas B de Kerley, espessamento perivascular, derrame pleural, opacidade hilar, proeminência do cone pulmonar e espessamento da parede brônquica.⁸

Os exames de USP foram realizados em modo B, utilizando transdutor linear (7,7-10 MHz) em equipamento LOGIQ™ P9 (GE HealthCare, Chicago, IL, EUA). Cada hemitórax foi dividido em três regiões anatômicas (anterior, lateral e posterior), utilizando as linhas paraesternal, axilar anterior e axilar posterior como referências.

O edema pulmonar foi considerado presente quando foi identificado mais de um sítio positivo por hemitórax, definido como mais de três linhas B bem espaçadas ou presença de linhas B coalescentes.

Ecocardiografia

A avaliação ecocardiográfica incluiu a mensuração do diâmetro diastólico final do ventrículo esquerdo (VE) e a estimativa da pressão sistólica do ventrículo direito (PSVD).⁹ Em 39 crianças com shunts esquerda-direita, foi calculada a razão entre fluxo pulmonar e fluxo sistêmico (Qp/Qs).¹⁰

Todos os pacientes com hipertensão pulmonar apresentavam defeitos cardíacos congênitos subjacentes. A hipertensão pulmonar foi definida como velocidade máxima do jato de regurgitação tricúspide > 3,0 m/s ao Doppler ecocardiográfico.¹¹

A hipercirculação pulmonar foi definida por evidência ecocardiográfica de dilatação do VE associada a aumento do fluxo arterial pulmonar, especificamente velocidade de pico > 1,8 m/s na artéria pulmonar principal.¹²

Diagnóstico de edema pulmonar

O diagnóstico de edema pulmonar foi estabelecido com base em avaliação clínica abrangente. Deterioração clínica, achados respiratórios, hipóxia e sinais de sobrecarga hídrica foram considerados em conjunto com os achados da USP e da radiografia de tórax para definição diagnóstica.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o *software* SPSS Statistics for Windows, versão 15 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA).

As variáveis contínuas foram avaliadas quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk, histogramas e gráficos Q-Q. Variáveis com distribuição normal foram apresentadas como média $\pm$ desvio-padrão (DP), e aquelas com distribuição não normal como mediana e intervalo interquartil. As variáveis categóricas foram expressas em frequências e porcentagens e comparadas por meio do teste do qui-quadrado de Pearson ou do teste exato de Fisher, conforme apropriado.

Foram realizadas regressão logística binária e análise da curva característica de operação do receptor (ROC, na sigla em inglês) para avaliar associações entre achados de imagem e parâmetros clínicos e identificar preditores independentes de edema pulmonar. Valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

Resultados

Características demográficas e clínicas

Um total de 62 crianças foi incluído na análise, com mediana de idade de 5,5 meses (intervalo interquartil, 4-10,1 meses). As características clínicas estão resumidas na Tabela 2.

Um total de 13 crianças apresentavam trissomia 21, e um paciente apresentava características dismórficas sem diagnóstico genético confirmado. Oito pacientes tinham hipotireoidismo, todos com síndrome de Down e em uso de levotiroxina.

A fisiopatologia da CC foi classificada como hiperfluxo pulmonar ($n = 48$), hipertensão pulmonar ($n = 7$) e outras condições ($n = 6$) (Tabela 1). Cinco pacientes do grupo com hipertensão pulmonar estavam em uso de terapia específica (sildenafil e/ou antagonistas dos receptores de endotelina). No total, 48 pacientes (77%) estavam em uso de terapia descongestiva (captopril e/ou furosemida), enquanto 11 não utilizavam medicação.

Quatro pacientes haviam sido submetidos previamente a intervenção cirúrgica: dois realizaram correção de drenagem anômala total das veias pulmonares, um foi submetido a procedimento de shunt por atresia pulmonar e um a procedimento de shunt por atresia tricúspide.

Os achados laboratoriais estão apresentados na Tabela 2. Hipoalbuminemia foi observada em 19 pacientes (31%), hiponatremia em 13 (21%) e anemia em sete (11%).

Achados radiológicos e ultrassonográficos

Os achados radiográficos estão resumidos nas Tabelas 2 e 3. O edema pulmonar foi frequentemente observado (Figura 1), comumente acompanhado de cardiomegalia, linhas B de Kerley e opacificação hilar bilateral.

A ecocardiografia demonstrou aumento da pressão arterial pulmonar em 43 pacientes (69%). Entre as crianças com shunts esquerda-direita, dilatação do VE foi observada em 27 (43,5%).

A USP demonstrou achados anormais em 33 pacientes (53%) (Figura 2). Entre esses, 13 (39%) eram do sexo feminino e 20 (61%) do sexo masculino. Síndrome de Down esteve presente em 21% dos pacientes com USP alterada, e hipotireoidismo em 12%. Histórico de ITRIs foi significativamente mais comum entre crianças com achados anormais na USP. Um resumo comparativo dos parâmetros clínicos, laboratoriais e ecocardiográficos entre pacientes com e sem alterações na USP está apresentado na Tabela 3.

Entre as crianças com edema pulmonar identificado pela USP, 79% também apresentavam evidência radiográfica de edema pulmonar na radiografia de tórax. Em contraste, 34,5% dos pacientes com USP normal apresentaram edema pulmonar na radiografia. Essa diferença foi estatisticamente significativa ($p < 0,001$).

Não foi observada diferença estatisticamente significativa na frequência de achados anormais na USP entre pacientes em uso de terapia descongestiva e aqueles sem tratamento. Além disso, não foi encontrada associação significativa entre alterações na USP e parâmetros ecocardiográficos, incluindo Qp/Qs, dilatação do VE e PSVD.

Artigo Original

Tabela 2 – Características demográficas, antropométricas, laboratoriais e de imagem basais da população do estudo

Característica	Valor
Sexo, n (%)	
Feminino	25 (40%)
Masculino	37 (60%)
Estatura, cm, mediana (IQR)	62 (59,0-68,0)
Peso, kg, mediana (IQR)	5,7 (4,8-7,47)
IMC, média ± DP	14,6 ± 1,79
Histórico de infecção recorrente, n (%)	23 (37%)
Falha no crescimento, n (%)	
Baixo peso*	29 (47%)
Baixa estatura†	19 (31%)
Achados laboratoriais	
Albumina, g/dl, média ± DP	4,2 ± 0,38
Hemoglobina, g/dl, média ± DP	12,7 ± 2
BNP, pg/ml, mediana (IQR)	815,5 (301-1724)
TSH, mIU/ml, mediana (IQR)‡	4,02 (3,1-5,2)
T ₄ livre, pmol/l, média ± DP‡	19,9 ± 2,7
Achados na radiografia de tórax	
Número de radiografias de tórax antes da operação, mediana (IQR)	5 (2,0-10,0)
Edema pulmonar na radiografia de tórax, n (%)	36 (58%)
Achados ecocardiográficos	
PSVD, mmHg, média ± DP	51,3 ± 20,8
Qp/Qs, mediana (IQR)	2,1 (1,67-2,3)

*Baixo peso definido como peso para idade < -2 DPs.

†Baixa estatura definida como estatura para idade < -2 DPs.

‡Valores hormonais tireoidianos disponíveis apenas para crianças com hipotireoidismo. BNP: peptídeo natriurético tipo B; DP: desvio-padrão; IQR: intervalo interquartil; IMC: índice de massa corporal; PSVD: pressão sistólica do ventrículo direito; Qp/Qs: razão entre fluxo pulmonar e fluxo sistêmico; T₄: tiroxina; TSH: hormônio estimulador da tireoide.

A proporção de crianças com baixo peso foi significativamente maior no grupo com USP alterada. ITRIs recorrentes também foram mais frequentes entre pacientes com edema pulmonar identificado pela USP.

A análise da curva ROC demonstrou que o BNP foi preditor significativo de edema pulmonar na USP. Um valor de corte de 963,8 pg/mL apresentou sensibilidade de 70% e especificidade de 84% (Figura 3; Figura Central). A área sob a curva foi 0,768 (intervalo de confiança de 95%, 0,607-0,930; p = 0,004).

Análise multivariada

Foi realizada regressão logística multivariada para identificar preditores independentes de edema pulmonar. O modelo global foi estatisticamente significativo segundo o teste Omnibus dos coeficientes do modelo ($\chi^2 = 23,784$; graus de liberdade = 5; p < 0,001). O valor de R² de Nagelkerke foi 0,425, indicando que o modelo explicou 42,5% da variância. O teste de ajuste de Hosmer-Lemeshow não foi estatisticamente significativo (p = 0,177), indicando bom ajuste do modelo.

As variáveis incluídas no modelo foram histórico de ITRIs recorrentes, falha no crescimento, uso de terapia descongestiva, hipoalbuminemia e presença de edema pulmonar na radiografia de tórax (Tabela 4).

Falha no crescimento esteve significativamente e negativamente associada à ocorrência de edema pulmonar. Em contraste, a presença de edema pulmonar na radiografia de tórax esteve fortemente associada ao aumento do risco. ITRIs recorrentes, uso de terapia descongestiva e hipoalbuminemia não foram preditores estatisticamente significativos no modelo multivariado.

Discussão

Este estudo destaca o potencial diagnóstico da USP na detecção de edema pulmonar em crianças com CC. Achados anormais na USP estiveram significativamente associados à evidência radiográfica de congestão pulmonar, bem como a importantes indicadores clínicos, incluindo baixo peso, ITRIs e níveis elevados de BNP (Figura Central). A síndrome de Down não esteve significativamente associada a alterações na USP nesta coorte. A análise multivariada demonstrou que a presença de edema pulmonar na radiografia de tórax e falha no crescimento foram preditores independentes de edema pulmonar. Esses achados reforçam o papel da USP como método de imagem prático e livre de radiação para identificação precoce de complicações pulmonares nessa população vulnerável.

A USP é uma ferramenta valiosa para avaliar a aeração e a complacência pulmonar em crianças com CC, que podem estar comprometidas devido à lesão por reperfusão ou à redução da perfusão pulmonar. O método permite monitoramento em tempo real da aeração pulmonar e avaliação da resposta ao tratamento.¹³ A presença de linhas B na USP reflete aumento do conteúdo de água extravascular pulmonar e aumento da relação ar-líquido no interstício pulmonar.⁴

Estudos prévios, incluindo o de Wu et al.,¹⁴ demonstraram sensibilidade e especificidade superiores da USP em comparação com a radiografia de tórax na detecção de edema pulmonar. No entanto, nossos achados sugerem uma relação mais complexa entre esses métodos de imagem. Aproximadamente 34,5% dos pacientes com USP normal apresentaram congestão pulmonar na radiografia de tórax. Diferentemente do estudo de Wu et al.,¹⁴ no qual os pacientes foram avaliados no período pré-operatório, uma proporção substancial de nossa coorte estava em uso de terapia descongestiva. Melhorias hemodinâmicas e alveolares relacionadas ao tratamento podem ter

Tabela 3 – Comparação das características clínicas e laboratoriais em crianças com e sem achados anormais na USP

Variável	USP anormal (n = 33)	USP normal (n = 29)	Valor p
Idade, meses, mediana (IQR)	6 (4-9)	5 (4-12)	0,576
Peso, kg, mediana (IQR)	5,4 (4,65-7,0)	6,2 (5,0-8,3)	0,646
Falha no crescimento, n (%)	22 (68%)	11 (38%)	0,024
Baixo peso, n (%)	19 (58%)	8 (29%)	0,023
Baixa estatura, n (%)	10 (31%)	7 (24%)	0,536
IMC, média ± DP	14,3 ± 2,0	15,1 ± 1,4	0,099
Hipotireoidismo, n (%)	4 (12%)	4 (14%)	1,000
ITRI recorrente, n (%)	16 (49%)	7 (24%)	0,048
Hiponatremia, n (%)	7 (21%)	6 (21%)	0,960
Anemia, n (%)	6 (18%)	2 (7%)	0,264
Hipoalbuminemia, n (%)	11 (33%)	6 (21%)	0,265
BNP, pg/mL, mediana (IQR)	1.230 (670-2.200)	380 (143-1.263)	0,010
Edema pulmonar na radiografia de tórax, n (%)	26 (79%)	7 (21%)	< 0,001
PSVD elevada, n (%)	22 (67%)	21 (72%)	0,624
PSVD, mmHg, média ± DP	53 ± 20	45 ± 13	0,488
Dilatação do VE, n (%)	14 (42%)	13 (45%)	0,849
Qp/Qs, mediana (IQR)	2,1 (1,7-2,4)	1,8 (1,6-2,3)	0,260

Valores de p estatisticamente significativos estão destacados em negrito. Variáveis contínuas foram analisadas pelo teste de Mann-Whitney. Variáveis categóricas foram comparadas pelo teste do qui-quadrado de Pearson ou pelo teste exato de Fisher, conforme apropriado. DP: desvio-padrão; IMC: índice de massa corporal; IQR: intervalo interquartil; ITRI: infecção do trato respiratório inferior; BNP: peptídeo natriurético tipo B; PSVD: pressão sistólica do ventrículo direito; VE: ventrículo esquerdo; Qp/Qs: razão entre fluxo pulmonar e fluxo sistêmico.

influenciado os achados da USP, enquanto alterações radiográficas podem persistir apesar da melhora clínica.⁴ Essas observações sugerem que, embora a USP seja um método confiável para diferenciar edema pulmonar de origem cardíaca e não cardíaca, o uso combinado de radiografia de tórax e USP pode aumentar a acurácia diagnóstica em crianças com CC.

Crianças com CC são vulneráveis a lesão pulmonar independentemente da presença de hiperfluxo pulmonar. Os mecanismos incluem disfunção do surfactante, edema pulmonar, extravasamento capilar, desequilíbrio ventilação-perfusão e aumento da resistência das vias aéreas.^{15,16} Quando ITRIs ocorrem nessa população, estão associadas a pior prognóstico, incluindo hospitalizações mais frequentes, internações prolongadas e maior risco de mortalidade.¹⁵ Em nosso estudo, ITRIs recorrentes estiveram associadas a maior prevalência de edema pulmonar na USP. Esses achados indicam que crianças com ITRIs recorrentes requerem monitoramento rigoroso para reduzir o risco de complicações pulmonares. Além disso, a adesão rigorosa aos programas de imunização contra patógenos respiratórios pode ser particularmente relevante em lactentes com CC, a fim de mitigar desfechos adversos.

Alterações nos hormônios tireoidianos podem afetar a função cardíaca sistólica e diastólica por meio de mudanças

no controle do cálcio, podendo levar à redução do desempenho cardíaco.^{17,18} Embora o hipotireoidismo seja reconhecido como fator contribuinte para insuficiência cardíaca, não foi observada associação entre hipotireoidismo e achados anormais na USP nesta coorte. Isso pode refletir reposição hormonal adequada e manutenção do estado eutireoidiano nos pacientes afetados. Pesquisas anteriores demonstraram associação entre hormônio estimulador da tireoide e níveis de BNP, o que sugere possíveis efeitos sobre a função cardíaca.¹⁸ Investigações adicionais sobre o estado tireoidiano em crianças com CC que apresentam deterioração clínica podem ser justificadas.

Níveis elevados de BNP estiveram significativamente associados a achados anormais na USP. O BNP é um biomarcador consolidado que reflete gravidade da insuficiência cardíaca, magnitude do shunt e sobrecarga volumétrica ventricular na CC.¹⁹ Kaya et al.⁶ também relataram associação significativa entre alterações na USP, aumento do proBNP, necessidade de diuréticos e suporte respiratório. Em populações em diálise, foi proposto um ponto de corte de BNP de 165 pg/mL para identificar congestão pulmonar confirmada pela USP.²⁰ Em nossa coorte, um valor de BNP > 963,8 pg/mL previu edema pulmonar na USP com sensibilidade de 70% e especificidade de 84%.



Figura 1 – Radiografia de tórax em incidência pósterio-anterior de paciente com edema pulmonar secundário à insuficiência cardíaca. Os achados de imagem incluem cardiomegalia, espessamento peribronquico/perivascular, aumento difuso bilateral das opacidades pulmonares, opacificação hilar bilateral e sinais compatíveis com edema alveolar.

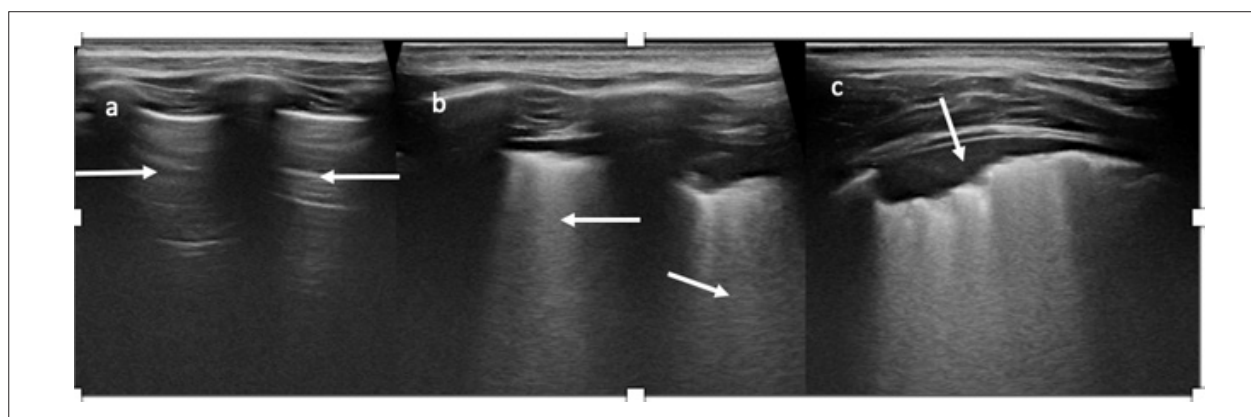


Figura 2 – Achados representativos da ultrassonografia pulmonar no edema pulmonar. a) Linhas A dominantes na zona superior do pulmão esquerdo (setas). (b) Linhas B confluentes na zona média do pulmão esquerdo (setas). (c) Pequena consolidação periférica na zona inferior do pulmão direito (seta) associada a linhas B que se misturam.

A desnutrição em crianças com CC está associada a desfechos adversos, incluindo maior mortalidade, internações prolongadas e maior tempo de permanência em unidade de terapia intensiva no período pré-operatório.^{21,22} Aproximadamente metade dos pacientes deste estudo apresentava baixo peso. O edema pulmonar detectado pela USP foi mais frequente entre crianças com baixo peso e IMC

para a idade abaixo de -2 DPs. Embora estudos anteriores não tenham demonstrado impacto significativo do IMC nos desfechos da CC,²² nossos achados sugerem que o estado nutricional pode influenciar a presença de edema pulmonar. A avaliação abrangente de parâmetros antropométricos pode, portanto, contribuir para melhor estratificação de risco e previsão prognóstica.

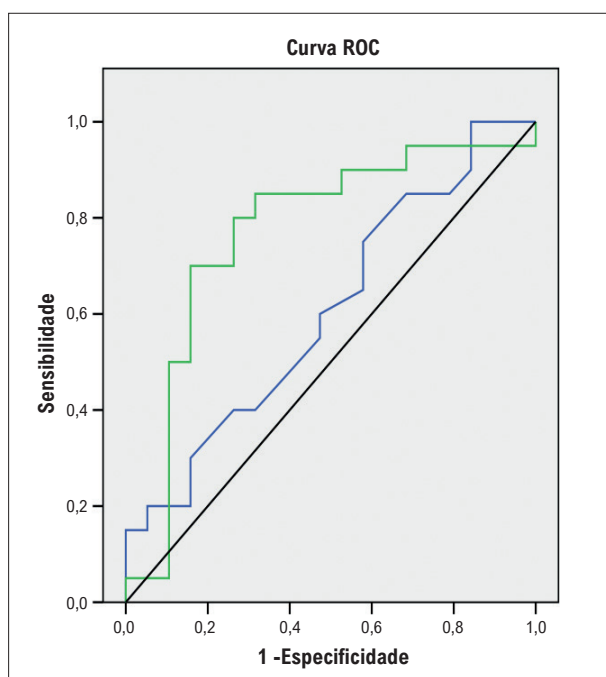


Figura 3 – Curvas ROC para a razão Qp/Qs e os níveis de BNP na predição de edema pulmonar. A curva verde representa o BNP, e a curva azul representa a razão Qp/Qs. A linha preta diagonal indica a linha de não discriminação. A área sob a curva (AUC) foi maior para o BNP. Um valor de corte de BNP de 963,8 pg/mL apresentou sensibilidade de 70% e especificidade de 84%.

Tabela 4 – Análise de regressão logística das variáveis associadas ao edema pulmonar

Variável	OR (IC 95%)	Valor p
ITRI recorrente	0,325 (0,084-1,26)	0,104
Falha no crescimento	0,217 (0,058-0,818)	0,024
Terapia descongestiva	4,605 (0,817-25,96)	0,084
Hipoalbuminemia	2,043 (0,376-11,11)	0,408
Edema pulmonar na radiografia de tórax	10,05 (2,6-38,83)	< 0,01

Valores de p estatisticamente significativos estão destacados em negrito. IC: intervalo de confiança; ITRI: infecção do trato respiratório inferior; OR: odds ratio.

Algumas limitações devem ser consideradas. Trata-se de estudo retrospectivo, unicêntrico, com tamanho amostral relativamente pequeno e heterogeneidade clínica quanto ao tipo de CC, idade, uso de medicações e comorbidades. O momento da realização dos exames de imagem não foi padronizado, o que pode ter influenciado a detecção de congestão pulmonar. Embora a maioria dos pacientes tenha sido avaliada no período pré-operatório, dois casos pós-operatórios foram incluídos. Apesar dessas limitações, o estudo oferece achados preliminares que podem orientar o delineamento

de futuras investigações prospectivas. O viés do observador foi minimizado por meio da interpretação cega das imagens.

Conclusão

Este estudo avaliou o papel da USP na detecção de edema pulmonar em crianças com CC. Achados anormais na USP estiveram significativamente associados a baixo peso, ITRIs recorrentes e níveis elevados de BNP, o que reforça seu valor na identificação de pacientes de alto risco. A síndrome de Down não esteve associada a alterações na USP, o que indica que não predispõe independentemente à congestão pulmonar detectável por meio da USP.

Devido à sua aplicabilidade à beira do leito e à ausência de exposição à radiação, a USP parece ser uma modalidade complementar útil à radiografia de tórax na avaliação pré-operatória da congestão pulmonar em crianças com CC. Estudos prospectivos, multicêntricos e com maior tamanho amostral são necessários para padronizar protocolos de USP, validar seu desempenho diagnóstico e determinar seu impacto na tomada de decisão clínica e nos desfechos dos pacientes em diferentes subtipos de CC.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa, Análise e interpretação dos dados e Redação do manuscrito: Donmez YN; Obtenção de dados: Donmez YN, Bako D, Alpat S; Análise estatística: Donmez YN, Giray D, Epcacan S; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo: Bako D, Alpat S, Epcacan S.

Potencial conflito de interesse

Não há conflito com o presente artigo

Fontes de financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação ética e consentimento informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Van Training and Research Hospital Non-Interventional Clinical Research sob o número de protocolo 2023/19-01. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013.

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. Healy F, Hanna BD, Zinman R. Pulmonary Complications of Congenital Heart Disease. *Paediatr Respir Rev*. 2012;13(1):10-5. doi: 10.1016/j.prrv.2011.01.007.
2. Schapka E, Gee J, Cyrus JW, Goldstein G, Greenfield K, Marinello M, et al. Lung Ultrasound versus Chest X-Ray for the Detection of Fluid Overload in Critically Ill Children: A Systematic Review. *J Pediatr Intensive Care*. 2021;11(3):177-82. doi: 10.1055/s-0041-1725123.
3. Picano E, Pellikka PA. Ultrasound of Extravascular Lung Water: A New Standard for Pulmonary Congestion. *Eur Heart J*. 2016;37(27):2097-104. doi: 10.1093/eurheartj/ehw164.
4. Cardinale L, Priola AM, Moretti F, Volpicelli G. Effectiveness of Chest Radiography, Lung Ultrasound and Thoracic Computed Tomography in the Diagnosis of Congestive Heart Failure. *World J Radiol*. 2014;6(6):230-7. doi: 10.4329/wjrv.v6.i6.230.
5. Cantinotti M, Giordano R, Valverde I. Lung Ultrasound: A New Basic, Easy, Multifunction Imaging Diagnostic Tool in Children Undergoing Pediatric Cardiac Surgery. *J Thorac Dis*. 2017;9(6):1396-9. doi: 10.21037/jtd.2017.05.71.
6. Kaya B, Dilli D, Sarikaya Y, Akduman H, Citli R, Orun UA, et al. Lung Ultrasound in the Evaluation of Pulmonary Edema in Newborns with Critical Congenital Heart Disease. *Pediatr Neonatol*. 2024;65(6):532-8. doi: 10.1016/j.pedneo.2024.02.006.
7. Vitale V, Ricci Z, Cogo P. Lung Ultrasonography and Pediatric Cardiac Surgery: First Experience with a New Tool for Postoperative Lung Complications. *Ann Thorac Surg*. 2014;97(4):e121-4. doi: 10.1016/j.athoracsur.2014.01.060.
8. Markowitz RI, Fellows KE. The Effects of Congenital Heart Disease on the Lungs. *Semin Roentgenol*. 1998;33(2):126-35. doi: 10.1016/s0037-198x(98)80017-5.
9. Lopez L, Saurers DL, Barker PCA, Cohen MS, Colan SD, Dwyer J, et al. Guidelines for Performing a Comprehensive Pediatric Transthoracic Echocardiogram: Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2024;37(2):119-70. doi: 10.1016/j.echo.2023.11.015.
10. Sanders SP, Yeager S, Williams RG. Measurement of Systemic and Pulmonary Blood Flow and QP/QS Ratio Using Doppler and Two-Dimensional Echocardiography. *Am J Cardiol*. 1983;51(6):952-6. doi: 10.1016/s0002-9149(83)80172-6.
11. Jone PN, Ivy DD, Hauck A, Karamlou T, Truong U, Coleman RD, et al. Pulmonary Hypertension in Congenital Heart Disease: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circ Heart Fail*. 2023;16(7):e00080. doi: 10.1161/HHF.0000000000000080.
12. Rodríguez-Fanjul J, Llop AS, Balaguer M, Bautista-Rodríguez C, Hernando JM, Jordan I. Usefulness of Lung Ultrasound in Neonatal Congenital Heart Disease (LUSNEHDI): Lung Ultrasound to Assess Pulmonary Overflow in Neonatal Congenital Heart Disease. *Pediatr Cardiol*. 2016;37(8):1482-7. doi: 10.1007/s00246-016-1461-0.
13. Biasucci DG, Ricci Z, Conti G, Cogo P. Sonographic Dynamic Assessment of Lung Injury in a Child with Hypoplastic Left Heart Syndrome Undergoing Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Pediatr Pulmonol*. 2014;49(12):E147-50. doi: 10.1002/ppul.23059.
14. Wu L, Hou Q, Lu Y, Bai J, Sun L, Huang Y, et al. Feasibility of Lung Ultrasound to Assess Pulmonary Overflow in Congenital Heart Disease Children. *Pediatr Pulmonol*. 2018;53(11):1525-32. doi: 10.1002/ppul.24169.
15. Ahuja N, Mack WJ, Wu S, Wood JC, Russell CJ. Acute Respiratory Infections in Hospitalised Infants with Congenital Heart Disease. *Cardiol Young*. 2021;31(4):547-55. doi: 10.1017/S1047951120004333.
16. Geskey JM, Cyran SE. Managing the Morbidity Associated with Respiratory Viral Infections in Children with Congenital Heart Disease. *Int J Pediatr*. 2012;2012:646780. doi: 10.1155/2012/646780.
17. Toscano E, Pacileo G, Limongelli G, Verrengia M, Di Mita O, Di Maio S, et al. Subclinical Hypothyroidism and Down's Syndrome; Studies on Myocardial Structure and Function. *Arch Dis Child*. 2003;88(11):1005-8. doi: 10.1136/adc.88.11.1005.
18. Passeri E, Frigerio M, De Filippis T, Valaperta R, Capelli P, Costa E, et al. Increased Risk for Non-Autoimmune Hypothyroidism in Young Patients with Congenital Heart Defects. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011;96(7):E1115-9. doi: 10.1210/jc.2011-0057.
19. Cantinotti M. B-Type Cardiac Natriuretic Peptides in the Neonatal and Pediatric Intensive Care Units. *J Pediatr Intensive Care*. 2016;5(4):189-97. doi: 10.1055/s-0036-1583543.
20. Giannese D, Puntoni A, Cupisti A, Morganti R, Varricchio E, D'Alessandro C, et al. Lung Ultrasound and BNP to Detect Hidden Pulmonary Congestion in Euvolemic Hemodialysis Patients: A Single Centre Experience. *BMC Nephrol*. 2021;22(1):36. doi: 10.1186/s12882-020-02210-z.
21. Ross F, Latham G, Joffe D, Richards M, Geiduschek J, Eisses M, et al. Preoperative Malnutrition is Associated with Increased Mortality and Adverse Outcomes after Paediatric Cardiac Surgery. *Cardiol Young*. 2017;27(9):1716-25. doi: 10.1017/S1047951117001068.
22. Lim CYS, Lim JKB, Moorakonda RB, Ong C, Mok YH, Allen JC, et al. The Impact of Pre-operative Nutritional Status on Outcomes Following Congenital Heart Surgery. *Front Pediatr*. 2019;7:429. doi: 10.3389/fped.2019.00429.

