

UNIVERSIDADE SANTO AMARO
CURSO DE MEDICINA

Declaração de entrega do Trabalho de Conclusão de Curso
Código do Trabalho: 4B

Declaro que o trabalho intitulado “**Técnica de barra cruzada versus técnica de barras paralelas para pectus excavatum: revisão sistemática e meta-análise**” realizado pelos alunos **Pedro Sampaio de Barros Vieira e Giulia Moraes Piazz** está apto para entrega, apresentação e avaliação das bancas nomeadas.

Prof. Dr. Cláudio Zambotti

Assinatura do Orientador do Trabalho

UNIVERSIDADE SANTO AMARO
CURSO DE MEDICINA

Giulia Moraes Piazzini
Pedro Sampaio de Barros Vieira

**TÉCNICA DE BARRA CRUZADA VERSUS TÉCNICA DE BARRAS
PARALELAS PARA PECTUS EXCAVATUM: REVISÃO SISTEMÁTICA E
META-ANÁLISE**

São Paulo
2025

Giulia Moraes Piazzì
Pedro Sampaio de Barros Vieira

**TÉCNICA DE BARRA CRUZADA VERSUS TÉCNICA DE BARRAS
PARALELAS PARA PECTUS EXCAVATUM: REVISÃO SISTEMÁTICA E
META-ANÁLISE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Medicina da
Universidade Santo Amaro – UNISA, como
requisito parcial para obtenção do título Bacharel
em Medicina.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Zambotti

São Paulo
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

V717t

Vieira, Pedro Sampaio de Barros

Técnica de barra cruzada versus técnica de barras paralelas para Pectus Excavatum: revisão sistemática e meta-análise / Pedro Sampaio de Barros Vieira, Giulia Moraes Piazzzi.

- São Paulo, 2025.

34 p. : il; color.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Zambotti.

Monografia (Graduação em Medicina) – Universidade Santo Amaro, 2025. Bibliografia incluída

1. Meta-análise. 2. MIRPE. 3. Pectus Excavatum. I. Piazzzi, Giulia Moraes. II.

Elaborado pela Bibliotecária Andréia Alessandra Alves CRB8/7588

**Giulia Moraes Piazzì
Pedro Sampaio de Barros Vieira**

**TÉCNICA DE BARRA CRUZADA VERSUS TÉCNICA DE
BARRAS PARALELAS PARA PECTUS EXCAVATUM: REVISÃO
SISTEMÁTICA E META-ANÁLISE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Medicina da Universidade Santo Amaro – UNISA, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Medicina.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Zambotti

São Paulo, 12 de dezembro de 2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Claudio Zambotti

Orientador

Prof. Dr. José Carlos Mann Prado

Avaliador

Prof. Dr. Yuri Longatto Boteon

Avaliador

Conceito Final

Giulia Moraes Piazzzi, Pedro Sampaio de Barros Vieira, Prof. Dr. Claudio Zambotti. *Técnica de barra cruzada versus técnica de barras paralelas para pectus excavatum: revisão sistemática e meta-análise*. [Trabalho de Conclusão de Curso]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade Santo Amaro, 2025.

INTRODUÇÃO: Pectus excavatum é a deformidade congênita mais comum da parede torácica anterior, e sua correção minimamente invasiva (MIRPE) tradicionalmente utiliza barras paralelas (PB) para elevar o esterno e restaurar a curvatura torácica. Entretanto, em deformidades profundas, rígidas ou assimétricas, a configuração cruzada (cross-bar, CB) foi desenvolvida para oferecer maior controle rotacional e melhor redistribuição das forças corretivas, já que o arranjo em “X” cria vetores opostos de sustentação e compressão capazes de otimizar a remodelação torácica. Embora ambas as técnicas sejam amplamente utilizadas, a evidência comparativa entre PB e CB permanece limitada, justificando a investigação de possíveis diferenças em resultados perioperatórios e na eficácia da correção. **METODOLOGIA:** Seguindo as diretrizes PRISMA 2020, PubMed, Embase e Cochrane Library foram pesquisadas até 24 de outubro de 2025. Foram incluídos estudos que comparavam diretamente as técnicas CB e PB e que relatavam ao menos um desfecho pré-definido. Quatro estudos observacionais retrospectivos (n = 1.021) preencheram os critérios de inclusão. Razões de chances (OR) e diferenças de médias (DM) foram calculadas utilizando o modelo de efeitos aleatórios de DerSimonian–Laird. O risco de viés foi avaliado pelo ROBINS-I, e a certeza da evidência pelo método GRADE. **RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Entre os 1.021 pacientes analisados, 449 foram submetidos à técnica CB e 572 à técnica PB. Não houve diferença significativa no tempo operatório (DM 4,79 min; IC95% -6,27 a 15,85) ou no tempo de internação (DM 0,24 dias; IC95% -0,39 a 0,88). As taxas de derrame pleural (OR 3,59; IC95% 0,82–15,72) e pneumotórax (OR 1,08; IC95% 0,39–2,97) também foram comparáveis entre as técnicas. A técnica CB apresentou uma pequena, porém estatisticamente significativa, melhora no Haller Index pós-operatório (DM -0,10; IC95% -0,17 a -0,03). As análises de sensibilidade revelaram heterogeneidade influenciada por estudos individuais, especialmente para tempo operatório e tempo de internação. O risco global de viés variou de moderado a sério, e a certeza da evidência variou de baixa a muito baixa para todos os desfechos avaliados. **CONCLUSÃO:** De forma geral, CB e PB apresentam perfis perioperatórios equivalentes e taxas semelhantes de complicações na MIRPE. A técnica CB pode oferecer uma vantagem modesta no remodelamento torácico pós-operatório.

Palavras-chave: Desfechos pós-operatórios. Meta-análise. MIRPE. Pectus excavatum.

ABSTRACT

BACKGROUND: Pectus excavatum is the most common congenital deformity of the anterior chest wall, and its minimally invasive correction (MIRPE) traditionally relies on parallel bars (PB) to elevate the sternum and restore thoracic contour. However, in deep, rigid, or asymmetric deformities, the cross-bar (CB) configuration was developed to provide greater rotational control and improved redistribution of corrective forces, as the “X” arrangement creates opposing vectors of support and compression that can optimize chest wall remodeling. Although both techniques are widely used, comparative evidence between PB and CB remains limited, highlighting the need to investigate potential differences in perioperative outcomes and corrective efficacy.

METHODOLOGY: Following PRISMA 2020 guidelines, PubMed, Embase, and the Cochrane Library were searched through October 24, 2025. Studies directly comparing CB and PB and reporting at least one predefined outcome were eligible. Four retrospective observational studies (n = 1,021) met inclusion criteria. Pooled odds ratios (ORs) and mean differences (MDs) were calculated using a DerSimonian–Laird random-effects model. Risk of bias was assessed with ROBINS-I and certainty of evidence with GRADE.

RESULTS AND DISCUSSION: Among the 1,021 patients analyzed, 449 underwent CB and 572 PB repair. Operative time (MD 4.79 min; 95% CI –6.27 to 15.85) and length of hospital stay (MD 0.24 days; 95% CI –0.39 to 0.88) did not differ significantly between techniques. Rates of pleural effusion (OR 3.59; 95% CI 0.82–15.72) and pneumothorax (OR 1.08; 95% CI 0.39–2.97) were similarly comparable. CB was associated with a small but statistically significant improvement in postoperative Haller Index (MD –0.10; 95% CI –0.17 to –0.03). Sensitivity analyses revealed study-driven heterogeneity for operative time and hospital stay. Overall risk of bias ranged from moderate to serious, with low to very low certainty of evidence across outcomes.

CONCLUSION: CB and PB techniques demonstrate equivalent perioperative profiles and complication rates in MIRPE. CB may confer a modest advantage in postoperative thoracic remodeling.

Keywords: Postoperative outcomes. Meta-analysis. MIRPE. Pectus excavatum.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 METODOLOGIA	14
2.1 Critérios de elegibilidade	14
2.2 Estratégia de busca e seleção dos estudos	14
2.3 Extração de dados	14
2.4 Desfechos	15
2.5 Avaliação do risco de viés e da certeza da evidência	15
2.6 Análise estatística	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1 Seleção dos estudos	15
3.2 Características dos pacientes	16
3.3 Análise agrupada	17
3.3.1 Desfechos relacionados ao tempo cirúrgico	17
3.3.2 Complicações pós-operatórias	18
3.3.3 Desfecho de eficácia	19
3.4 Análise de sensibilidade	20
3.5 Risco de viés e certeza da evidência	20
4 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa mais sincera gratidão aos professores e doutores Claudio Zambotti e Allan Garms, que foram pilares essenciais na construção deste trabalho. O Dr. Claudio, nosso orientador, com sua generosidade e entusiasmo, sempre nos levou aos centros cirúrgicos, permitindo que vivenciássemos de perto a prática médica e aprendêssemos com suas habilidades e experiência, guiando-nos com maestria ao longo de todo o processo deste TCC. Já o Dr. Allan, com sua paciência e dedicação, esteve ao nosso lado em todos os momentos, oferecendo suporte incansável e ajudando-nos a superar desafios acadêmicos com orientações precisas e valiosas. A ambos, nosso reconhecimento por nos guiarem com tanto comprometimento ao longo desta jornada.

Agradecemos também aos doutores residentes Eduardo Ximenes e Filipe Piazzzi, que, atuando nos Estados Unidos, representam um exemplo inspirador para nós. Eduardo, intensivista compartilhou conosco seu conhecimento aprofundado e sua paixão pela área, enriquecendo nosso entendimento sobre os desafios e avanços nesse campo. Filipe, residente em neurocirurgia na Boston University, trouxe uma perspectiva única sobre a complexidade e a inovação na medicina, motivando-nos com sua determinação e conquistas. Suas trajetórias internacionais nos incentivaram a sonhar alto e a buscar excelência em nossos próprios caminhos.

Um agradecimento especial ao **Dr. Manoel Ximenes Neto**, ao **Dr. Humberto Alves de Oliveira** e à **Dra. Paula Duarte**, cirurgiões torácicos que desempenharam papéis singulares em nossa formação. Desde o início da faculdade, acolheram-nos com apoio incondicional, sempre disponíveis para orientar e abrir portas no universo da cirurgia torácica. Suas aulas práticas, conversas inspiradoras e as oportunidades proporcionadas no ambiente hospitalar foram fundamentais para o desenvolvimento não apenas de nossas habilidades técnicas, mas também de uma visão mais humana e ética da medicina. A presença constante de cada um deles foi um verdadeiro diferencial em nossa trajetória, e somos profundamente gratos por tudo o que nos ensinaram.

Da mesma forma, dedicamos um reconhecimento especial ao **Dr. Kalil**, cardiologista, cujo suporte foi igualmente essencial ao longo desses anos. Ele esteve ao nosso lado desde os primeiros passos na graduação, oferecendo não apenas conhecimento técnico, mas também uma motivação contínua para que perseguíssemos nossos objetivos com confiança. As oportunidades que ele nos apresentou no campo da cardiologia, aliadas ao seu acompanhamento próximo e ao seu exemplo de dedicação,

moldaram nossa percepção sobre o cuidado ao paciente e nos deram a base para enfrentar os desafios da profissão. Sua influência foi indispensável, e carregaremos seus ensinamentos para sempre.

Por fim, reiteramos nossa gratidão a todos esses profissionais incríveis que cruzaram nosso caminho. Cada um, à sua maneira, contribuiu para que este trabalho se tornasse realidade e para que nos tornássemos melhores estudantes e futuros médicos. O Dr. Humberto, o Dr. Kalil, o Dr. Claudio e o Dr. Allan, em particular, com seu suporte de sempre e as portas que nos abriram no mundo da medicina, nos acompanharam de perto desde o início da faculdade, proporcionando experiências únicas que transcenderam a sala de aula. A eles, e aos demais mencionados, nosso muito obrigado por acreditarem em nós e por fazerem parte desta conquista.

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos pais, Edméa Piazzzi, Miguel Piazzzi, Giselle Vieira, Ricardo Vieira e Giovanna Piquet. Obrigado por compartilharem essa jornada conosco, sempre com muito amor e carinho em momentos decisivos da nossa formação acadêmica. O apoio de vocês foi fundamental para alcançar esse sonho. Amamos muito vocês!

EPÍGRAFE

*"A cirurgia é a dança precisa das mãos
que cortam para curar, onde o bisturi
escreve histórias de vida em cada
incisão."*

Adaptado de Sir William Osler

1 INTRODUÇÃO

Pectus excavatum (PE), também conhecido como “tórax em funil”, é a deformidade congênita mais comum da parede torácica anterior, correspondendo a aproximadamente 65–95% dessas anomalias¹. Caracterizado por deslocamento posterior do esterno e das cartilagens costais adjacentes, o PE resulta em graus variáveis de depressão torácica anterior². A condição geralmente se manifesta na infância ou adolescência e está frequentemente associada a sofrimento psicossocial, incluindo insatisfação com a imagem corporal, redução da interação social e menor qualidade de vida geral³.

Embora diversas abordagens cirúrgicas tenham sido desenvolvidas, alcançar uma correção completa e duradoura continua sendo um desafio — particularmente em pacientes com deformidades complexas ou assimétricas. Historicamente, técnicas abertas como o procedimento de Ravitch eram amplamente utilizadas, mas o advento da correção minimamente invasiva pelo método de Nuss transformou significativamente o cenário do tratamento do PE⁴. Aperfeiçoamentos contínuos da técnica de Nuss — incluindo o uso de múltiplas barras e configurações em barra cruzada — têm buscado melhorar a qualidade da correção, reduzir complicações e otimizar os desfechos em longo prazo⁵. Embora a adição de múltiplas barras possa ser benéfica em casos de assimetria, essa estratégia também tem sido associada a maior desconforto pós-operatório e inflamação.

As correções minimamente invasivas do PE podem ser amplamente categorizadas em técnicas sem duplas barras, que promovem elevação esternal isolada, e técnicas com duplas barras, que combinam elevação com compressão anterior para otimizar o remodelamento da parede torácica. Entre estas, as configurações de duplas barras demonstraram melhores resultados, incluindo menor tempo de internação e menos complicações quando comparadas às correções com barra única⁶. Notavelmente, a configuração dessas barras — paralelas ou cruzadas em “X” — pode influenciar tanto a estabilidade mecânica quanto os resultados clínicos. As técnicas de barra cruzada, especialmente quando combinadas com crioanalgesia e dispositivos estabilizadores, têm mostrado resultados comparáveis ou até superiores, sem aumento da morbidade⁷.

No entanto, as evidências permanecem conflitantes quanto à superioridade de uma configuração sobre a outra, em parte devido à heterogeneidade dos desenhos dos estudos e das populações avaliadas.

Com a intenção de esclarecer essa questão, conduzimos uma revisão sistemática e meta-análise comparando os desfechos das técnicas de barras paralelas versus barras cruzadas na correção cirúrgica minimamente invasiva do PE.

O objetivo deste estudo é avaliar os desfechos perioperatórios e a eficácia pós-operatória das técnicas de CB versus PB, sobretudo tendo em vista o PE como deformidade congênita mais comum da parede torácica, e a correção minimamente invasiva (MIRPE) continua a evoluir em busca de melhores resultados e menor morbidade. Mesmo diante das configurações com barra cruzada (CB) e barras paralelas (PB) serem amplamente utilizadas, os dados comparativos ainda são limitados.

2 METODOLOGIA

2.1 Critérios de elegibilidade

Foram incluídos estudos que atendessem a todos os seguintes critérios: (1) pacientes com pectus excavatum; (2) desenho como ensaio randomizado ou estudo observacional; (3) comparação direta entre as técnicas *cross-bar* e *parallel-bar*, e (4) relato de pelo menos um desfecho pré-definido. Foram excluídos estudos que: (1) utilizaram outras técnicas cirúrgicas ou (2) não apresentaram grupo comparador.

2.2 Estratégia de busca e seleção dos estudos

Realizou-se uma busca sistemática nas bases PubMed, Embase e Cochrane Library desde a criação até 24 de outubro de 2025. A estratégia detalhada para cada base encontra-se na Tabela Suplementar S1. As listas de referências dos estudos incluídos e de revisões sistemáticas prévias também foram examinadas para identificar estudos adicionais. Dois revisores realizaram independentemente a triagem inicial no Rayyan, avaliaram títulos, resumos e posteriormente os textos completos. Divergências foram resolvidas por consenso.

2.3 Extração de dados

Dois autores extraíram independentemente os dados em um formulário padronizado, incluindo: características gerais do estudo (primeiro autor, ano de publicação, desenho, país), número de participantes, características dos pacientes

(idade, sexo, índice de massa corporal, Índice de Haller), tempo de seguimento e desfechos reportados.

2.4 Desfechos

Os desfechos de interesse foram: (1) derrame pleural; (2) tempo de internação hospitalar; (3) tempo operatório; e (4) Índice de Haller pós-operatório. Outras complicações foram coletadas e resumidas qualitativamente quando a síntese quantitativa não foi possível.

2.5 Avaliação do risco de viés e da certeza da evidência

O risco de viés foi avaliado independentemente por dois revisores utilizando a ferramenta ROBINS-I V2¹². Não foi possível avaliar adequadamente viés de publicação, pois análises com menos de 10 estudos não possuem poder estatístico suficiente para identificar assimetria em gráficos de funil¹³. A certeza da evidência foi avaliada segundo o sistema GRADE, sendo classificada como alta, moderada, baixa ou muito baixa¹⁴.

2.6 Análise estatística

Razões de chances (ORs) foram calculadas para desfechos dicotômicos e diferenças médias (MDs) para desfechos contínuos, utilizando o modelo de efeitos aleatórios de DerSimonian–Laird, com intervalos de confiança de 95%¹⁵. Considerou-se significância estatística quando $P < 0.05$. A heterogeneidade entre estudos foi avaliada pelo teste Q de Cochran e pelo índice I^2 , sendo considerada significativa quando $P < 0.10$ e $I^2 > 25\%$. Para desfechos heterogêneos, realizou-se análise de sensibilidade *leave-one-out* para identificar estudos influentes. Todas as análises foram conduzidas no software R (versão 4.3.3; R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

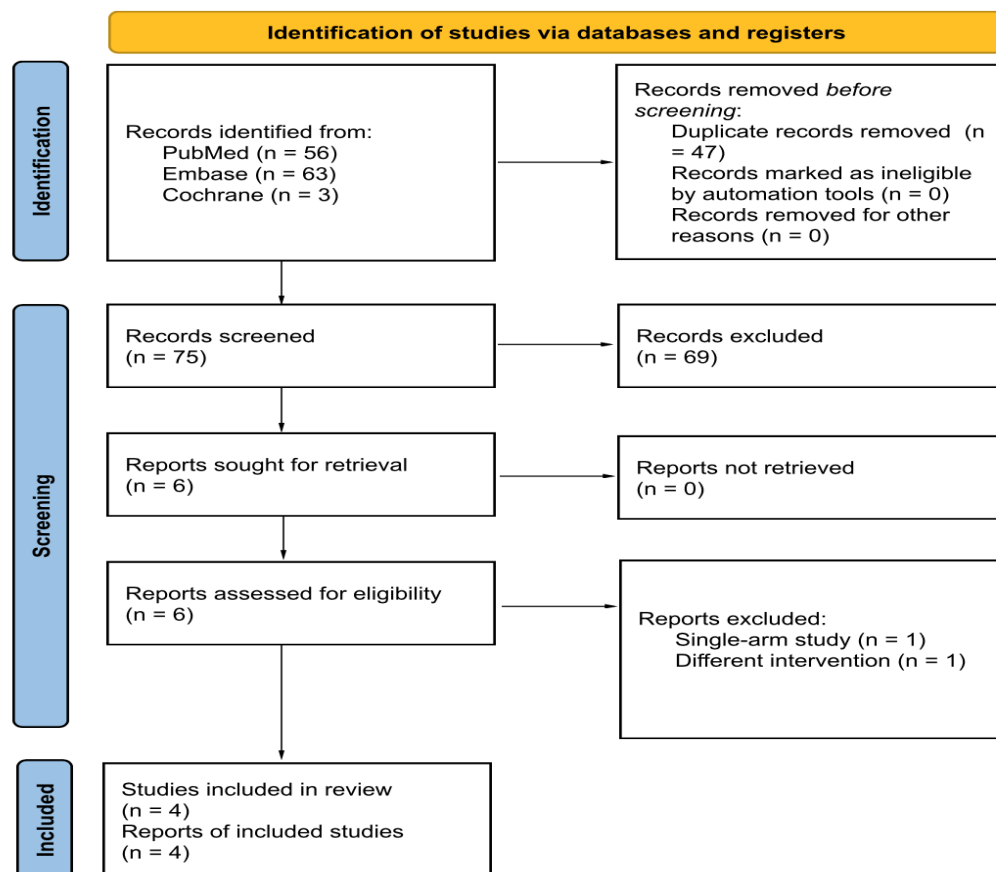
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Seleção dos estudos

Conforme detalhado na Figura 1, a busca inicial identificou 122 registros. Após a remoção de duplicatas e a avaliação dos estudos com base em título e resumo, 6 artigos permaneceram para leitura completa segundo os critérios pré-definidos. Destes, quatro estudos observacionais retrospectivos publicados entre 2020 e 2023 foram incluídos¹⁶–

¹⁹. Dois estudos foram excluídos na fase de revisão do texto completo: o estudo de DiFiore et al. por não apresentar grupo comparador²⁰, e o estudo de Park et al. por avaliar a técnica *total crane lift*²¹.

Figura 1 - Diagrama de fluxo PRISMA 2020 mostrando a identificação, triagem e inclusão dos estudos. Dos 122 registros inicialmente identificados, quatro estudos observacionais retrospectivos foram incluídos após avaliação do texto completo conforme critérios pré-especificados



Fonte: Os autores (2025)

3.2 Características dos pacientes

Um total de 1 021 pacientes foi incluído nos quatro estudos, sendo 449 (43,98%) submetidos à técnica *cross-bar* (CB) e 572 (56,02%) à técnica *parallel-bar* (PB). A maioria (80,2%) era do sexo masculino, com média de idade de 20,5 anos (20,8 anos no grupo CB e 20,3 anos no grupo PB). O IMC médio foi de 20,3 kg/m² em ambos os grupos, e o Índice de Haller pré-operatório médio foi de 4,6 no grupo CB e 4,5 no grupo PB. As principais características demográficas e clínicas estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características demográficas e clínicas basais dos pacientes submetidos à correção minimamente invasiva do pectus excavatum (MIRPE) utilizando a técnica *cross-bar* (CB) ou *parallel-bar* (PB) nos estudos incluídos.

First author, year	Design	Country	Period	No. of patients		Male, n (%)		Mean age, years		Mean BMI, kg/cm ²		Mean Haller Index		Follow-up time, months
				CB	PB	CB	PB	CB	PB	CB	PB	CB	PB	
Ersöz, 2023	R-Obs	Turkey, Austria, Israel and Russia, multicenter	2012-2022	205	213	176 (85.9)	169 (79.3)	23.9±8.4	22.6±8.1	21.9±1.8	21.4±1.4	4.3±2.0	4.48±2.1	NA
Hyun, 2023	R-Obs	South Korea, single-center	2016-2019	157	90	135 (86.0)	68 (75.5)	18.0±6.1	15.7±5.0	18.7±2.6	18.5±2.7	5.0±2.1	4.5±1.1	40.8*
Moon, 2020	R-Obs	South Korea, single-center	2015-2018	36	44	31 (86.1)	36 (81.8)	17.0±4.5	16.9±3.9	18.0±2.1	18.9±2.6	4.9±1.5	4.5±1.0	NA
Sayan, 2022	R-Obs	Turkey, single-center	2005-2018	51	225	45 (88.2)	159 (77.6)	20.1	20.7	NA	NA	NA	NA	24-36

*median; CB: cross-bar; PB: parallel-bar; R-Obs: retrospective observational; BMI: body mass index; NA = not available.

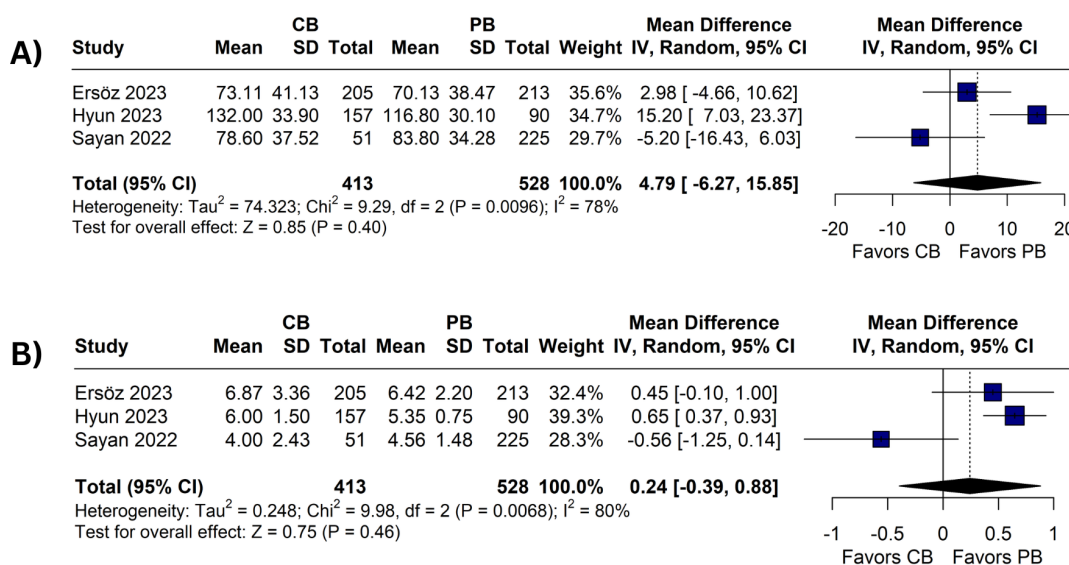
Fonte: Os autores (2025)

3.3 Análise agrupada

3.3.1 *Desfechos relacionados ao tempo cirúrgico*

Três estudos relataram tempo operatório e tempo de internação^{16, 17, 19}. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos para tempo operatório (DM 4,79 minutos; IC 95% -6,27 a 15,85; p = 0,40; I² = 78%; Figura 2A) nem para tempo de internação hospitalar (DM 0,24 dias; IC 95% -0,39 a 0,88; p = 0,46; I² = 80%; Figura 2B).

Figura 2 - Gráficos Forest Plot para os desfechos relacionados ao tempo, comparando as configurações *cross-bar* (CB) e *parallel-bar* (PB) na MIRPE: (A) Tempo operatório (minutos); (B) Tempo de internação hospitalar (dias)

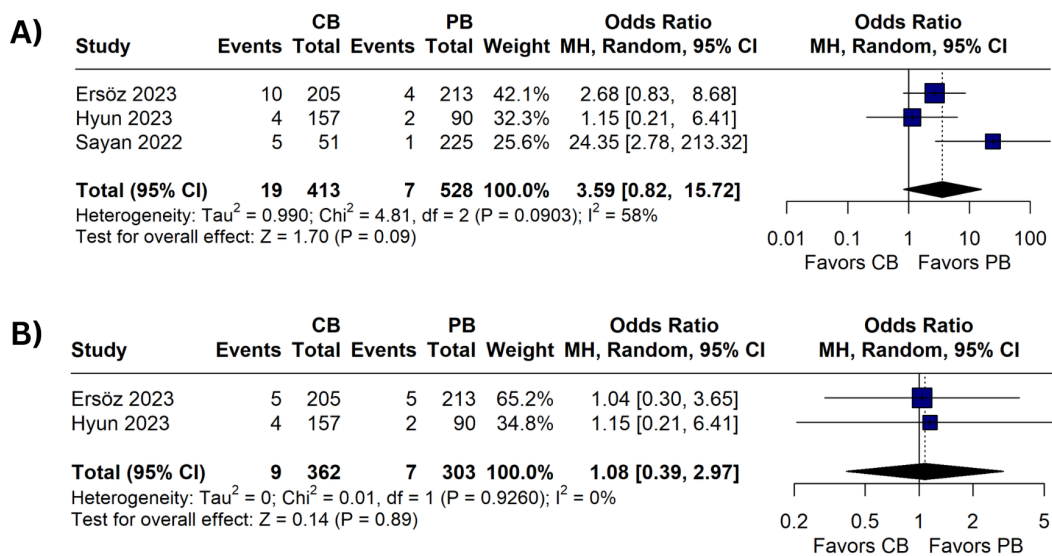


Fonte: Os autores (2025)

3.3.2 *Complicações pós-operatórias*

Apenas derrame pleural e pneumotórax foram relatados por dois ou mais estudos. Não houve diferença estatisticamente significativa entre CB e PB para derrame pleural (OR 3,59; IC 95% 0,82–15,72; $p = 0,09$; $I^2 = 58\%$; Figura 3A) nem para pneumotórax (OR 1,08; IC 95% 0,39–2,97; $p = 0,14$; $I^2 = 0\%$; Figura 3B).

Figura 3 - Gráficos Forest Plot para complicações pós-operatórias comparando as técnicas CB e PB: (A) Derrame pleural; (B) Pneumotórax



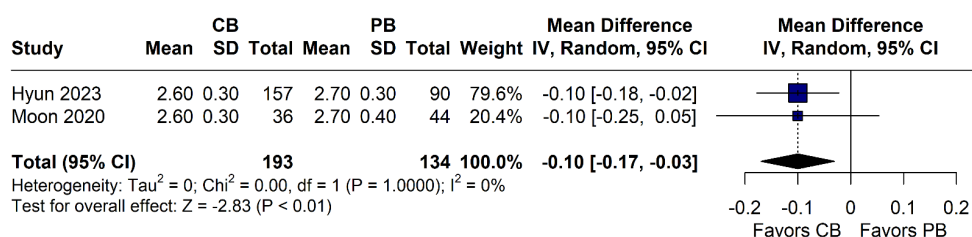
Fonte: Os autores (2025)

Ersöz et al. (2023) relataram um caso de derrame pericárdico no grupo CB, menor incidência de deslocamento de barra no grupo CB (4 versus 2), taxas semelhantes de dor torácica persistente (7 vs 8), e uma recorrência significativamente menor após correção com CB (7 vs 1)¹⁶. No estudo de Hyun et al., hemotórax ocorreu na mesma frequência nos dois grupos (1 caso cada), enquanto plexopatia braquial ocorreu apenas no grupo CB (2 casos) e infecção de ferida operatória foi discretamente maior no CB (6 vs 4 casos)¹⁷. O estudo de Moon et al. não relatou complicações¹⁸.

3.3.3 Desfecho de eficácia

O Índice de Haller pós-operatório foi reportado por dois estudos¹⁷⁻¹⁸. A técnica CB resultou em redução significativamente maior do Índice de Haller em comparação à PB (DM -0,10 pontos; IC 95% -0,17 a -0,03; $p < 0,01$; $I^2 = 0\%$; Figura 4).

Figura 4 - Gráfico Forest Plot para o desfecho de eficácia, mostrando a comparação do Índice de Haller (HI) pós-operatório entre as técnicas CB e PB



Fonte: Os autores (2025)

3.4 Análise de sensibilidade

As análises *leave-one-out* são apresentadas nas Figuras S1–S3. Para o tempo de internação, a exclusão do estudo de Sayan et al. eliminou a heterogeneidade e alterou o resultado de não significativo para significativo em favor da técnica PB¹⁹. Para derrame pleural, a exclusão do mesmo estudo também eliminou a heterogeneidade, porém sem alterar a significância estatística. Para tempo operatório, a exclusão de qualquer estudo individual reduziu substancialmente a heterogeneidade.




3.5 Risco de viés e certeza da evidência

Conforme apresentado na Figura 5, entre os quatro estudos não randomizados incluídos, o risco de viés variou de moderado a sério. A maioria dos estudos apresentou definição clara das intervenções e desfechos radiológicos objetivos, com baixo risco nos domínios de classificação e mensuração dos desfechos. Entretanto, todos eram retrospectivos e sem randomização; confusão relacionada à gravidade da deformidade, experiência do cirurgião e variações institucionais representou a principal limitação.

Figura 5 - Sumário do risco de vieses utilizando a ferramenta ROBINS-I para os estudos não randomizados incluídos que comparam as configurações CB e PB

Study	Risk of bias domains							Overall
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
Moon 2020	-	+	+	+	+	+	-	-
Sayan 2022	X	-	+	+	-	+	-	X
Hyun 2023	X	-	+	+	+	-	-	X
Ersöz 2024	X	X	+	-	-	X	-	X

Domains:
D1: Bias due to confounding.
D2: Bias due to selection of participants.
D3: Bias in classification of interventions.
D4: Bias due to deviations from intended interventions.
D5: Bias due to missing data.
D6: Bias in measurement of outcomes.
D7: Bias in selection of the reported result.

Judgement
 Serious
 Moderate
 Low

Fonte: Os autores (2025)

Apenas Moon et al. realizaram ajuste multivariado limitado¹⁸, enquanto os demais dependeram de comparações descritivas. A gestão de dados ausentes foi geralmente adequada, mas o ênfase seletiva em resultados significativos e a ausência de protocolos pré-registrados contribuíram para viés de relato. Assim, o risco global de viés foi classificado como moderado a sério, indicando que confusão residual e condutas não padronizadas podem influenciar os estimadores de efeito.

A certeza da evidência pelo GRADE foi baixa a muito baixa para todos os desfechos, devido a limitações metodológicas, imprecisão e inconsistência, conforme detalhado na Tabela Suplementar S2. Todos os estudos eram retrospectivos e não randomizados, com risco de confusão moderado a sério. Houve rebaixamento adicional por inconsistência (heterogeneidade substancial, $I^2 = 58-80\%$) e imprecisão (intervalos de confiança amplos cruzando o nulo, tamanho amostral reduzido e baixo número de eventos).

Nesta revisão sistemática e meta-análise de quatro estudos publicados entre 2020 e 2023 ($n = 1.021$), comparando configurações *cross-bar* (CB) versus *parallel-bar* (PB) na MIRPE, observamos: ausência de diferenças em tempo operatório e tempo de

internação; taxas comparáveis de complicações como derrame pleural e pneumotórax; e uma melhora pequena, porém estatisticamente significativa, no Índice de Haller pós-operatório favorecendo CB. As análises de sensibilidade evidenciaram heterogeneidade impulsionada por estudos individuais para tempo operatório e tempo de internação; a remoção de Sayan et al. reduziu a heterogeneidade do tempo de internação e deslocou o efeito em direção à técnica PB.

A ausência de diferenças no tempo operatório e no tempo de internação hospitalar é consistente com séries comparativas nas quais fatores institucionais — como protocolos de analgesia, critérios de alta, estratégias de estabilização e métodos de elevação esternal — provavelmente exercem maior impacto que o arranjo geométrico das barras^{22,23}. A mudança em direção ao PB após a exclusão de um único estudo sugere que práticas específicas de cada centro e preferências técnicas podem dominar esses desfechos relacionados ao processo assistencial. Na prática, elementos como padronização em estilo ERAS, analgesia multimodal e critérios uniformes de alta parecem modular o tempo de internação mais fortemente do que a escolha entre CB e PB²⁴⁻²⁶.

As taxas agrupadas de derrame pleural e pneumotórax foram semelhantes entre CB e PB. A tendência quase significativa de maior incidência de derrames com CB reflete achados de coortes que relatam aumento de efusões serosas e reinternações em configurações cruzadas, possivelmente devido a trajetórias distintas das barras, pontos de contato e padrões de drenagem²⁷⁻²⁹. O pneumotórax, por sua vez, evento de baixa frequência e etiologia multifatorial, manteve-se estável entre as técnicas. Complicações raras — como plexopatia braquial observada no grupo CB — parecem depender do operador e de nuances técnicas (tração, posicionamento, número de barras), reforçando a importância de verificações intraoperatórias rigorosas como medida de mitigação³⁰⁻³⁴.

A vantagem observada no Índice de Haller com CB foi pequena em magnitude absoluta, mas consistente com o racional biomecânico segundo o qual a convergência das barras redistribui forças, aprimora o controle da rotação esternal e melhora o remodelamento do hemitórax inferior e lateral³⁰⁻³². Ainda assim, uma diferença de -0,10 pontos no HI — embora estatisticamente significativa — possui relevância clínica variável, dependendo da morfologia da deformidade (assimetria, rotação caudal) e dos objetivos estéticos e funcionais do tratamento. Em linhas gerais, as evidências atuais sugerem um perfil perioperatório equivalente entre CB e PB, com uma vantagem anatômica modesta para CB.

Diante de perfis semelhantes de tempo operatório, tempo de internação e complicações, e um benefício anatômico discreto para CB, a escolha da técnica deve ser individualizada. CB pode ser preferível em deformidades assimétricas ou com rotação esternal caudal; PB, quando inserida em protocolos ERAS bem estabelecidos, pode otimizar o tempo de internação. Independentemente da configuração adotada, o planejamento pré-operatório (número de barras e estabilizadores) e verificações intraoperatórias rigorosas (posição, tração, prevenção de compressão axilar) são recomendados para minimizar eventos neurológicos e formação de seromas³⁵⁻³⁷.

Este estudo possui limitações: (1) todos os estudos incluídos são observacionais, com risco de confusão (gravidade da deformidade, assimetria, experiência do cirurgião, variações de protocolo). Mitigação: uso de modelo de efeitos aleatórios e análises *leave-one-out* para testar robustez. (2) Heterogeneidade elevada em tempo de internação e tempo operatório. Mitigação: análise de sensibilidade demonstrou heterogeneidade impulsionada por estudo específico, sem alterar a conclusão geral de equivalência. (3) Imprecisão decorrente de baixa frequência de eventos e amplos intervalos de confiança. Mitigação: interpretação conservadora e síntese qualitativa dos desfechos escassos. (4) Comparabilidade limitada, pois apenas um estudo apresentou ajuste multivariado. Mitigação: avaliação formal pelo ROBINS-I e rebaixamento pelo GRADE. (5) Impossibilidade de avaliar viés de publicação (<10 estudos) e variabilidade na padronização dos relatos após retirada das barras e avaliação de recorrência. Mitigação: recomendação explícita por padronização futura dos desfechos e seguimento tardio.

4 CONCLUSÃO

Entre pacientes submetidos à MIRPE, as técnicas *cross-bar* (CB) e *parallel-bar* (PB) apresentam tempos operatórios, tempo de internação e taxas de complicações comuns semelhantes, enquanto a configuração CB demonstra uma melhora modesta e consistente no Índice de Haller pós-operatório. Diante das evidências de baixa certeza e da variabilidade entre centros, a escolha da técnica deve ser individualizada, considerando a morfologia da deformidade e a experiência da equipe local.

REFERÊNCIAS

1. Janssen N, Coorens NA, Franssen AJPM, Daemen JHT, Michels IL, Hulsewé KWE, et al. Pectus excavatum and carinatum: a narrative review of epidemiology, etiopathogenesis, clinical features, and classification. *J Thorac Dis.* 2024 Feb 29;16(2):1687–701.
2. David VL, Izvernariu DA, Popoiu CM, Puiu M, Boia ES. Morphologic, morphometrical and histochemical proprieties of the costal cartilage in children with pectus excavatum. *Rom J Morphol Embryol.* 2011;52(2):625–9.
3. Steinmann C, Krille S, Mueller A, Weber P, Reingruber B, Martin A. Pectus excavatum and pectus carinatum patients suffer from lower quality of life and impaired body image: a control group comparison of psychological characteristics prior to surgical correction. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2011 Nov;40(5):1138–45.
4. Chest Wall Deformities: Overview, Pectus Excavatum, Surgical Repair of Pectus Excavatum. 2025 Apr 11 [cited 2025 Nov 17]; Available from: <https://emedicine.medscape.com/article/906078-overview?form=fpf>.
5. Skrzypczak PJ, Rozmiarek M, Dobiecki T, Sielewicz M, Suchodolski M, Roszak M, et al. A large single-center propensity score-matched cohort study on outcomes and complications based on the number of corrective bars used in the Nuss procedure. *Sci Rep.* 2024 Nov 16;14(1):28285.
6. Nagaso T, Miyamoto J, Kokaji K, Yozu R, Jiang H, Jin H, et al. Double-bar application decreases postoperative pain after the Nuss procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010 July;140(1):39–44, 44.e1-2.
7. Ersöz H, Karaali R, Kuzmichev V, Rebhandl W, Abu-Akar F, Lakranbi M, et al. Evaluation of cross-bar and parallel-bar techniques in MIRPE surgery in different countries: a multicenter study. *Updates Surg.* 2024 Aug;76(4):1501–9.
8. Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, et al. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* version 6.4 (updated August 2023) [Internet]. Available from: www.training.cochrane.org/handbook.
9. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic

- reviews. *BMJ*. 2021 Mar 29;372:n71.
10. U.S. National Institute of Health Research. PROSPERO. International prospective register of systematic reviews. n.d.
 11. Wohlin C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering [Internet]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery; 2014 [cited 2024 May 16]. p. 1–10. (EASE '14). Available from: <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>.
 12. Sterne JA, Hernán MA, Reeves BC, Savović J, Berkman ND, Viswanathan M, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ*. 2016 Oct 12;355:i4919.
 13. Lau J, Ioannidis JPA, Terrin N, Schmid CH, Olkin I. The case of the misleading funnel plot. *BMJ*. 2006 Sept 16;333(7568):597–600.
 14. Atkins D, Best D, Briss PA, Eccles M, Falck-Ytter Y, Flottorp S, et al. Grading quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2004 June 19;328(7454):1490.
 15. DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials*. 1986 Sept;7(3):177–88.
 16. Ersöz H, Karaali R, Kuzmichev V, Rebhandl W, Abu-Akar F, Lakranbi M, et al. Evaluation of cross-bar and parallel-bar techniques in MIRPE surgery in different countries: a multicenter study. *Updates Surg*. 2024 Aug;76(4):1501–9.
 17. Hyun K, Park HJ. The Cross-Bar Technique for Pectus Excavatum Repair: A Key Element for Remodeling of the Entire Chest Wall. *Eur J Pediatr Surg*. 2023 Aug;33(4):310–8.
 18. Moon DH, Park CH, Moon MH, Park HJ, Lee S. The effectiveness of double-bar correction for pectus excavatum: A comparison between the parallel bar and cross-bar techniques. *PLoS One*. 2020;15(9):e0238539.
 19. Sayan B, Bekiroglu N, Yuksel M. Pectus cross bars increase hospital readmission rates due to serous pleural effusion. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2022 Apr;70(4):352–8.

20. DiFiore JW, Heitsman CG, Robertson JO. Parks bridging bar pectus procedure: Techniques to optimize functional and aesthetic results in 72 cases. *J Pediatr Surg.* 2025 Sept 12;162661.
21. Park HJ, Rim G, Yoon SK. Crane-powered pectus excavatum repair: the NeoPectus surgery. *Front Surg.* 2023;10:1267009.
22. Song SH, Moon DH, Shim YH, Jung H, Lee S. Limited cryoablation reduces hospital stay and opioid consumption compared to thoracic epidural analgesia after minimally invasive repair of pectus excavatum. *Medicine.* 2022 Aug 5;101(31):e29773.
23. Passos FS, Bregion PB, Oliveira RE, Siemeni T, Trembl RE, Pessoa BM, et al. Cryoanalgesia in Lung Transplantation – A Systematic Review and Meta-analysis. *JHLT Open.* 2025 May;8:100263.
24. Kodia K, Stephens-McDonnough JA, Alnajar A, Villamizar NR, Nguyen DM. Implementation of an enhanced recovery after thoracic surgery care pathway for thoracotomy patients—achieving better pain control with less (schedule II) opioid utilization. *J Thorac Dis.* 2021 July;13(7):3948–59.
25. Mehran RJ, Martin LW, Baker CM, Mena GE, Rice DC. Pain Management in an Enhanced Recovery Pathway After Thoracic Surgical Procedures. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2016 Dec;102(6):e595–6.
26. Pratt CG, Cheon S, Whitrock JN, Moore AN, Wima K, Budde B, et al. Enhanced Recovery After Thoracic Surgery: Postoperative Opioid Use by Preoperative Use Status and Risk Factors for New Persistent Opioid Use. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2025 Oct;120(4):749–57.
27. Weissberg D, Weissberg-Kasav D. Foreign bodies in pleura and chest wall. *Ann Thorac Surg.* 2008 Sept;86(3):958–61.
28. Zeineddine RM, Khedr AE, Farina JM, Odeh NB, Senjab A, Jenkins JA, et al. Pectus Arcuatum Definitions, Diagnostics, and Surgical Guidelines: A Systematic Review. *JAMA Surg* [Internet]. 2025 July 23 [cited 2025 Nov 3]; Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jamasurgery/fullarticle/2836848>.
29. Aly MR, Farina JM, Bostoros PM, Botros MM, Pulivarthi VS, Peterson MA, et al.

- Risk Factors and Techniques for Safe Pectus Bar Removal in Adults After Modified Nuss Repair. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2023 Oct;116(4):787–94.
30. Lim BY, I H, Lee C. Biomechanical Effectivity Evaluation of Single- and Double-Metal-Bar Methods with Rotation and Equilibrium Displacements in Nuss Procedure Simulations. *Ann Biomed Eng*. 2024 Apr;52(4):1067–77.
31. Park HJ, Rim G, Yoon SK. Recent Advancements in Pectus Surgery: Crane Lifting, Multiple-Bar Approach, Bridge Stabilization, and Sandwich Technique. *Journal of Pediatric Surgery*. 2024 Apr;59(4):640–7.
32. Woo W, Moon DH, Lee J, Kim BJ, Lee S. Double-bar technique for the correction of asymmetric pectus excavatum. *J Thorac Dis*. 2024 July;16(7):4350–8.
33. Liu T, Liu H, Yang C, Xu S, Sun C. Brachial plexus palsy, a rare, delayed complication of the Nuss procedure for pectus excavatum: a case report. *Journal of Pediatric Surgery*. 2012 Nov;47(11):e19–20.
34. Ben-David B, Stahl S. Prognosis of intraoperative brachial plexus injury: a review of 22 cases. *British Journal of Anaesthesia*. 1997 Oct;79(4):440–5.
35. Park HJ, Rim G, Yoon SK. Minimally invasive repair of pectus excavatum in children: insights from a large cohort at a single institution. *J Thorac Dis*. 2025 Aug;17(8):5663–79.
36. Park HJ, Rim G, Yoon SK, DiFiore JW. Surgical adjuncts in minimally invasive repair of pectus excavatum and carinatum deformities: techniques for internal visualization, sternal elevation, and depression. *J Thorac Dis*. 2025 Sept;17(9):7306–17.
37. Kelly RE, Obermeyer RJ, Goretsky MJ, Kuhn MA, Frantz FW, McGuire MM, et al. Recent Modifications of the Nuss Procedure: The Pursuit of Safety During the Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum. *Annals of Surgery*. 2022 Feb;275(2):e496–502.

1 INTRODUCTION

Pectus excavatum (PE), also known as “funnel chest,” is the most common congenital anterior chest wall deformity, accounting for approximately 65–95% of such anomalies¹. Characterized by inward displacement of the sternum and adjacent costal cartilages, PE results in varying degrees of anterior thoracic depression². The condition typically presents in childhood or adolescence and is frequently associated with psychosocial distress, including poor body image, reduced social interaction, and decreased overall quality of life³.

Although various surgical approaches have been developed, achieving complete and durable correction remains a challenge—particularly in patients with complex or asymmetric deformities. Historically, open techniques such as the Ravitch procedure were commonly employed, but the advent of the minimally invasive Nuss procedure significantly transformed the landscape of PE repair⁴. Continuous refinements to the Nuss technique—including the use of multiple bars and cross-bar configurations—have aimed to improve correction quality, reduce complications, and enhance long-term outcomes⁵. While the addition of multiple bars can be beneficial in cases of asymmetry, this approach has also been associated with increased postoperative discomfort and inflammation.

Minimally invasive PE repairs can be broadly categorized into non–double-bar techniques, which provide isolated sternal elevation, and double-bar configurations, which combine elevation with anterior compression to optimize chest wall remodeling. Among these, double-bar techniques have demonstrated improved outcomes, including shorter hospital stays and fewer complications compared with single-bar repairs⁶. Notably, the configuration of these bars—whether parallel or crossed (X-bar)—may influence both mechanical stability and clinical results. Cross-bar techniques, particularly when combined with cryoanalgesia and stabilizing bridges, have shown comparable or even superior outcomes without increasing morbidity⁷. Nevertheless, evidence remains conflicting regarding the superiority of one configuration over another, in part due to heterogeneity in study designs and patient populations.

To address this gap, we conducted a systematic review and meta-analysis comparing the outcomes of parallel-bar versus cross-bar techniques in the minimally invasive surgical repair of PE.

2 METHODOLOGY

2.1 Protocol and registration

This systematic review and meta-analysis was conducted in accordance with the Cochrane Handbook and reported following PRISMA 2020 guidelines^{8,9}. The protocol was registered in PROSPERO (CRD420251183264)¹⁰.

2.2 Eligibility criteria

Inclusion in this meta-analysis was restricted to studies that met all of the following eligibility criteria: (1) enrollment of patients with pectus excavatum; (2) design as a randomized trial or observational study; (3) direct comparison between the cross-bar and standard parallel-bar techniques; and (4) reporting of at least one outcome of interest. Studies were excluded if they (1) involved other surgical techniques or (2) lacked a comparator group.

2.3 Search strategy and study selection

We systematically searched PubMed, Embase, and Cochrane Library databases from inception to October 24th, 2025. The detailed search strategy for each database is provided in Supplementary Table S1. We also searched the references of the included studies and previous systematic reviews and meta-analyses, aiming for the inclusion of additional studies¹¹. Two authors (M.S.R and E.C.B) independently conducted the search, imported results into Rayyan, a web-based systematic review tool, and triaged the studies. After the exclusion of duplicates and titles/abstracts unrelated to the clinical question, the eligibility of each remaining study was assessed based on the review of the full-text articles. Disagreements were solved by consensus.

2.4 Data extraction

Two authors (L.M.D and G.C.S.) extracted the data from the included studies into a standardized format, including: general data (first author, year of publication, study design, and country), number of participants, patient characteristics (age, sex, body mass index [BMI], and Haller Index), follow-up, and outcomes reported.

2.5 Outcomes

The outcomes of interest were: (1) pleural effusion, (2) length of hospital stay (LOS), (3) operative time, and (4) Haller Index post procedure. Other complications were systematically collected and qualitatively summarized, even when quantitative pooling or graphical representation was not feasible.

2.6 Risk of bias and certainty assessment

Two independent reviewers (L.M.D and G.C.S.) assessed the Risk of Bias In Non Randomized Studies of Interventions (ROBINS-I V2) tool¹². Disagreements were solved by consensus. Publication bias could not be assessed adequately because the power of this test is insufficient to discriminate between chance and true funnel plot asymmetry when analyzing fewer than 10 studies¹³. We evaluated the certainty of evidence using the Grading of Recommendations, Assessment, Development, and Evaluation (GRADE) tool, classifying it as high, moderate, low, or very low certainty¹⁴.

2.7 Statistical analysis

We used the DerSimonian–Laird random-effects model to calculate pooled odds ratios (ORs) and mean differences (MDs) for binary and continuous outcomes, respectively, with 95% confidence intervals (CIs)¹⁵. Significance was regarded as a *P*-value <0.05. Between-study heterogeneity was assessed using the Cochran Q test and *I*² statistics, and we considered a *P* value of <0.10 and an *I*² >25% as significant for heterogeneity. For outcomes with significant heterogeneity, we performed leave-one-out sensitivity analysis to identify influential studies and their effect on the pooled estimates. We conducted all the statistical analyses using R statistical software (version 4.3.3; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Study selection

As detailed in Figure 1, the initial search identified 122 results. After removal of duplicate records and assessment of the studies based on title and abstract, 6 full-text studies remained for full review according to prespecified criteria. Of these, four retrospective observational studies, spanning from 2020 to 2023, were included^{16–19}. Two studies were excluded during the full-text screening stage: the study by DiFiore et al. lacked a comparator group²⁰, and the study by Park et al. evaluated the total crane

lift technique²¹.

3.2 Patient characteristics

A total of 1,021 patients were included across the four studies, with 449 (43.98%) undergoing the CB technique and 572 (56.02%) undergoing the PB technique. 80.2% were male, with a mean age of 20.5 years (20.8 years in the CB group and 20.3 years in the PB group). The mean BMI was 20.3 kg/m² in both groups, and the mean preoperative Haller Index was 4.6 in the CB group and 4.5 in the PB group. The main demographic and clinical characteristics are summarized in Table 1.

3.3 Pooled analysis

3.3.1 *Time-related outcomes*

Three studies reported operative time and LOS^{16,17,19}. There were no statistically significant differences between groups for operative time (MD 4.79 minutes; 95% CI -6.27 to 15.85; $p=0.40$; $I^2=78\%$; Figure 2A), and for LOS (MD 0.24 days; 95% CI -0.39 to 0.88; $p=0.46$; $I^2=80\%$; Figure 2B).

3.3.2 *Postoperative complications*

Only pleural effusion and pneumothorax were reported by two or more studies. There were no statistically significant differences between groups for pleural effusion (OR 3.59; 95% CI 0.82 to 15.72; $p=0.09$; $I^2=58\%$; Figure 3A), and for pneumothorax (OR 1.08; 95% CI 0.39 to 2.97; $p=0.14$; $I^2=0\%$; Figure 3B). Ersöz et al. (2023) reported one pericardial effusion in the CB group, fewer bar shifts with CB (4 vs 2), similar rates of persistent chest pain (7 vs 8), and markedly lower recurrence after CB repair (7 vs 1)¹⁶. In addition, in the study by Hyun et al., hemothorax occurred at the same rate in both groups (1 case each), while brachial plexopathy was observed only in the CB group (2 cases) and wound infection was slightly higher with CB (6 vs 4 cases)¹⁷. The study by Moon et al did not report any complication¹⁸.

3.3.3 *Efficacy-related outcome*

Postoperative HI was reported by two studies^{17,18}. CB significantly reduced HI compared to PB (MD -0.10 points; 95% CI -0.17 to 0.03; $p<0.01$; $I^2=0\%$; Figure 4).

3.4 Sensitivity analysis

Leave one-out analysis are detailed in Figures S1-S3. For LOS, the exclusion of the study by Sayan et al eliminated heterogeneity while shifting the results from

nonsignificant to significant favoring PB¹⁹. For pleural effusion, the exclusion of the same study also eliminated heterogeneity, however did not change significance of the results. For operative time, the exclusion of any individual study significantly reduced heterogeneity.

3.5 Risk of bias and certainty assessment

As detailed in Figure 5, across the four included non-randomized studies comparing cross-bar and parallel-bar techniques for MIRPE, the risk of bias ranged from moderate to serious. Most studies presented clear intervention definitions and objective radiologic endpoints, supporting low risk in the classification and outcome measurement domains. However, all were retrospective and lacked randomization; confounding by deformity severity, surgeon experience, and institutional protocol differences was the predominant limitation. Only Moon et al. performed limited multivariable adjustment¹⁸, whereas the remaining studies relied solely on descriptive comparisons. Missing-data handling was generally adequate, but selective emphasis on significant results and absence of prespecified protocols yielded moderate reporting bias. Consequently, the overall risk of bias judgment for the observational evidence was moderate-to-serious, indicating that residual confounding and non-standardized management could meaningfully influence effect estimates.

The GRADE certainty of evidence was low to very low across all outcomes due to study design limitations, imprecision, and inconsistency, as detailed in Supplementary Table S2. All included studies were retrospective and non-randomized, with moderate to serious confounding risk. Additional downgrading was applied for inconsistency (substantial heterogeneity, $I^2 = 58\text{--}80\%$) and imprecision (wide confidence intervals crossing the null, small sample sizes, and low event counts).

In this systematic review and meta-analysis of 4 studies (2020–2023; $n=1,021$) CB versus PB configurations in MIRPE, we found: no difference in operative time, LOS, comparable complications for pleural effusion and pneumothorax; and a small but statistically significant improvement in postoperative Haller Index favoring CB. Sensitivity analyses showed study-driven heterogeneity for LOS and operative time; removing Sayan et al. reduced LOS heterogeneity and shifted the effect toward PB.

The lack of differences in operative time and LOS is consistent with comparative series in which institutional pathways (analgesia, discharge criteria, bar/stabilizer strategy, sternal elevation) likely outweigh bar geom^{22 23}. The shift toward PB in LOS after excluding a single study implies that center-level practices and technical preferences may

dominate these process measures. Practically, ERAS-style standardization, multimodal analgesia, and unified discharge criteria probably modulate LOS more than CB versus PB per se^{24–26}.

Pooled pleural effusion and pneumothorax were comparable between CB and PB. The near-significant trend toward more effusions with CB mirrors cohort signals of increased serous effusions/readmissions in crossed constructs, possibly related to bar trajectories, contact points, and drainage pathways^{27–29}. Pneumothorax, low-frequency and multifactorial, remained stable across techniques. Rare events (e.g., brachial plexopathy with CB) appear operator/technique dependent (traction/positioning, bar count)^{20,30–32}, supporting meticulous checks as mitigation.^{33,34}

The HI advantage with CB was small in absolute terms but considered with the biomechanical rationale that bar convergence can redistribute forces, improve sternal rotation control, and enhance lower/lateral chest remodeling^{20,30–32}. Nevertheless, a –0.10 HI difference, though statistically significant, has context-dependent clinical relevance, varying with defect morphology (asymmetry, caudal rotation) and aesthetic/functional goals. Broadly, current evidence supports perioperative equivalence of CB and PB, with a modest anatomic edge for CB.

Given similar operative/LOS/complication profiles and a modest HI benefit for CB, technique selection should be individualized. CB may be advantageous in asymmetric or caudally rotated deformities; PB within robust ERAS frameworks may optimize LOS. Regardless of configuration, preoperative planning (bar/stabilizer number) and intraoperative safety checks (position, traction, axillary compression) are advisable to minimize neurologic events and seromas^{35–37}.

This study has limitations: (1) Observational designs across all included studies with confounding risk (severity/asymmetry, surgeon experience, protocol drift). Mitigation: random-effects modeling and leave-one-out analyses to probe robustness. (2) High heterogeneity in LOS/operative time. Mitigation: sensitivity analyses confirmed study-driven heterogeneity without overturning the overall equivalence. (3) Imprecision due to low event rates and wide CIs for complications. Mitigation: conservative interpretation and qualitative synthesis for sparse outcomes. (4) Limited comparability (only one multivariable-adjusted study). Mitigation: formal ROBINS-I appraisal and GRADE downgrading. (5) Publication bias not assessable (<10 studies) and limited standardized reporting after bar removal/recurrence. Mitigation: explicit recommendation for standardized reporting and late follow-up in future cohorts.

4 CONCLUSION

Among MIRPE patients, CB and PB demonstrate similar operative time, LOS, and common complications, while CB achieves a modest, consistent improvement in postoperative HI. Given low-certainty evidence and inter-center variability, technique choice should be personalized to defect morphology and local expertise.