

Statusartikel

Kateterbaseret behandling til patienter med akut lungeemboli

Emilie Sonne-Holm¹, Lia E. Bang¹, Jørn Carlsen¹, Asger Andersen², Mikkel Hougaard³, Martin Kirk Christensen³, Lene Holmvang¹, Rikke Sørensen¹, Mads Ersbøll¹ & Jesper Kjærgaard¹

1) Afdeling for Hjertesygdomme, Københavns Universitetshospital – Rigshospitalet, 2) Afdeling for Hjertesygdomme, Aarhus Universitetshospital, 3) Afdeling for Hjertesygdomme, Odense Universitetshospital

Ugeskr Læger 2025;187:V07250571. doi: 10.61409/V07250571

HOVEDBUDSKABER

- På grund af høj blødningsrisiko har systemisk fulddosis trombolyse begrænset anvendelse ved lungeemboli med intermediær-høj risiko.
- Kateterbaserede behandlinger viser lovende effekt og sikkerhed i udvalgte patientgrupper.
- Metoderne kan udvide behandlingsmulighederne i Danmark, men kræver specialiseret ekspertise og mere evidens.

Lungeemboli udgør på verdensplan den tredjehyppigste, akutte kardiovaskulære tilstand og rammer årligt ca. 4.000 personer i Danmark [1]. Tilstanden skyldes ofte embolisering fra en dyb venetrombose og medfører delvis eller komplet okklusion af en eller flere pulmonalarterier. Dette kan forårsage akut højresidigt hjertesvigt og cirkulatorisk kollaps. Risikoen for død inden for 30 dage varierer med 1-15% og afhænger af patientens kliniske profil samt grad af kardielle påvirkning, hvorfor tidlig risikostratificering er afgørende for både behandlingsvalg og prognose [2].

Baseret på European Society of Cardiology's retningslinjer klassificeres patienter med lungeemboli i lav, intermediær-lav, intermediær-høj og høj risiko [2]. Patienter med lav og intermediær-lav risiko kan i vid udstrækning behandles ambulant med perorale antikoagulantia, fortrinsvis direkte orale antikoagulantia. Ved høj risiko, defineret som vedvarende hypotension eller shock, anbefales i tillæg til heparin systemisk fulddosis trombolyse, typisk alteplase 100 mg over to timer, medmindre der er kontraindikationer. Imellem disse to yderpunkter ligger gruppen af patienter med intermediær-høj risiko. Disse patienter udgør 15% af alle patienter med lungeemboli og er kendetegnet ved billeddiagnostiske og biokemiske tegn på påvirkning af højre ventrikel samt normalt systemisk blodtryk. Trods relevant behandling med heparin, ufraktioneret eller lavmolekylært, er disse patienter i øget risiko for klinisk forværring og kræver tæt monitorering i kardiologisk regi. Hvis patientens kliniske tilstand forværres, opskaleres der til behandling med fulddosis systemisk trombolyse [2].

Alternative behandlingsstrategier for patienter med intermediær-høj risiko-lungeemboli har været genstand for debat i de senere år. I det investigatorinitierede PEITHO-studie fra 2014 reducerede fulddosis trombolyse risikoen for død og hæmodynamisk kollaps, men medførte en markant øget risiko for alvorlige blødninger, herunder intracerebral blødning, sammenlignet med standardbehandling med heparin [3]. Ud fra en samlet betragtning anses fulddosis systemisk trombolyse således ikke som en fordelagtig behandlingsmulighed til hæmodynamisk stabile patienter. Åben kirurgi i form af pulmonal embolektomi er en akut livreddende

behandlingsmulighed reserveret til patienter, hvor trombolyse og øvrige behandlingsmuligheder har svigtet eller er kontraindicerede.

I lyset af dette har kateterbaserede behandlinger vundet frem som et muligt alternativ hos patienter med intermediær-høj risiko-lungeemboli samt patienter med kontraindikationer eller utilstrækkelig effekt af systemisk trombolyse. Alder, køn og komorbiditet anses for de vigtigste faktorer i vurderingen af blødningsrisikoen. Disse procedurer inkluderer kateterbaseret trombolyse (CDT), kateterbaseret UL-assisteret trombolyse (USAT) og kateterbaseret embolektomi. Behandlingerne er invasive kardiologiske procedurer, der tilstræber at opløse eller fjerne trombmassen med målrettet effekt og lavere systemisk lægemiddelpåvirkning, svarende til ca. en femtedel af vanlig trombolysedosering. Formålet med denne statusartikel er at give en oversigt over kateterbaserede behandlingsmuligheder, potentielle komplikationer og deres dokumenterede effekt.

KATETERBASERET TROMBOLYSE

Ved CDT anlægges et intravaskulært kateter UL-vejledt via v. femoralis eller v. jugularis i lokalbedøvelse. Kateteret positioneres i det afficerede pulmonalarteriesegment, ofte bilateralt. Gennem kateteret infunderes et lavdosis trombolytikum (typisk alteplase) direkte i trombmassen over 6-24 timer. Almindelige doseringsregimer omfatter 8-24 mg alteplase i alt [4], afhængigt af trombens udbredelse og patientens profil. I teorien begrænser den lokale applikation systemisk eksponering og muliggør en mere fokuseret trombolytisk effekt i det okkluderede segment, hvilket nedsætter risikoen for blødningskomplikationer sammenlignet med fulddosis systemisk trombolyse [5, 6].

Effektiviteten af CDT er undersøgt i flere mindre studier og caseserier, som peger på forbedring i højre ventrikels funktion, reduktion i pulmonalt arterietryk og lav blødningsrisiko (1-3%) [7, 8]. Et igangværende dansk studie BETULA (**Tabel 1**) undersøger CDT mod heparin med fokus på forbedring i højre/venstre ventrikel (RV/LV)-ratio. Større multicenter-RCT'er med kliniske endepunkter er fortsat nødvendige for at definere CDT's plads i behandlingsalgoritmen.

TABEL 1 Oversigt over afsluttede og igangværende studier af noninvasiv behandling af akut lungeemboli.

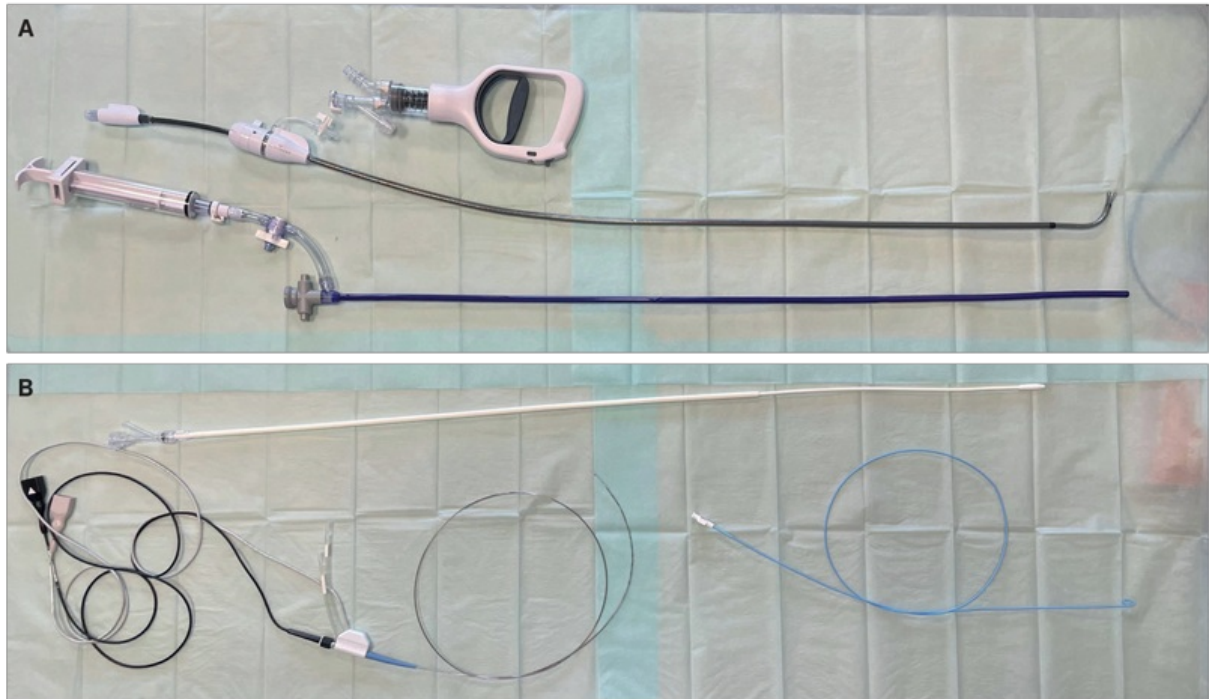
Studie	Design (geografi)	n	Intervention	Kontrol	Primært endepunkt	Resultat	Initiativ
<i>I.v. fulddosis trombolyse</i>							
PEITHO, 2014	RCT	1.005	Fulddosis systemisk trombolyse: alteplase 100 mg	Heparin	Død eller hæmodynamisk kollaps	Færre hæmodynamiske kollaps men flere alvorlige blødninger inkl. ICH	Investigator
<i>Kateterbaseret trombolyse</i>							
BETULA, igangværende	RCT (Danmark)	60*	CDT: 4 mg alteplase pr. kateter/2 t.	Heparin	Ændring i RV/LV-ratio efter 24 t.	Afventer	Investigator
<i>Kateterbaseret UL-assisteret trombolyse</i>							
ULTIMA, 2014	RCT	59	USAT: 10 mg alteplase pr. kateter/15 t.	Heparin	Ændring i RV/LV-ratio efter 24 t.	Signifikant forbedring uden øget blødningsrisiko	Investigator
SEATTLE II, 2015	Prospektivt kohortestudie	150	USAT: 12 mg alteplase pr. kateter/12-24 t.	-	Ændring i RV/LV-ratio, PAP	25% reduktion i RV/LV-ratio, 30% fald i PAP, ingen ICH	Industri
OPTALYSE PE, 2018	RCT	101	USAT: 4-12 mg/2-6 t., 4 regimer	Ikke direkte kontrol	Ændring i RV/LV-ratio, trombebyrde	Alle regimer effektive; lavdosis/kort tid effektivt uden øget blødning	Industri
STRATIFY, 2024	RCT (Danmark)	210	I.v. lavdosis trombolyse USAT: 10 mg alteplase pr. kateter/6 t.	Heparin	Trombereduktion efter 48-96 t.	Afventer	Investigator
HI-PEITHO, igangværende	RCT, multicenter (EU)	544*	USAT: 10 mg pr. kateter/8 t.	Heparin	Død, kardiopulmonal dekompression, recidiv VTE	Afventer	Industri
<i>Kateterbaseret embolektomi</i>							
PEERLESS I, 2023	RCT, multicenter	550	FlowTrierer-embolektomi	CDT/USAT, efter operatorvalg	Hierarkisk win ratio: død, ICH, større blødning, klinisk forværring, ICU	Win ratio 5,01 i favør embolektomi, primært drevet af færre kliniske forværringer og ICU-indlæggelser	Industri
PEERLESS II, igangværende	RCT	1.200*	FlowTrierer-embolektomi	Standard-antikoagulation	Mortalitet, hæmodynamisk kollaps, CTEPH	Afventer	Industri
STRATIFY II, planlagt	RCT (Danmark)	210*	FlowTrierer-embolektomi Lavdosis systemisk trombolyse	Heparin	Trombereduktion efter 48-96 t.	Afventer	Investigator

CDT = kateterbaseret trombolyse; CTEPH = kronisk tromboembolisk pulmonal hypertension; i.v. = intravenøs; ICH = intracerebral blødning; ICU = intensivafdeling; LV = venstre ventrikel; PAP = pulmonalt arterielt blodtryk; RV = højre ventrikel; USAT = UL-assisteret trombolyse; VTE = venøs tromboemboli.
a) Forventet.

KATETERBASERET ULTRALYDASSISTERET TROMBOLYSE

USAT er en videreudvikling af konventionel CDT, hvor lokal infusion af trombolytikum kombineres med lavfrekvente UL-bølger for at øge trombolyseseffekten. Den mest anvendte teknologi er EKOS-systemet, som integrerer små UL-transducere i kateteret, der udsender kontinuerlige UL-bølger (~ 2 MHz) (Figur 1). Disse bølger menes at åbne trombens fibrinstruktur og øge porøsiteten, hvilket faciliterer dybere penetration af trombolytikum ind i trombemassen. Samtidig infunderes en kølende saltopløsning i kateteret for at forhindre vævsopvarmning.

FIGUR 1 AlphaVac-systemet (A) anvendt til embolektomi og EKOS-systemet (B) anvendt til UL-assisteret trombolyse.



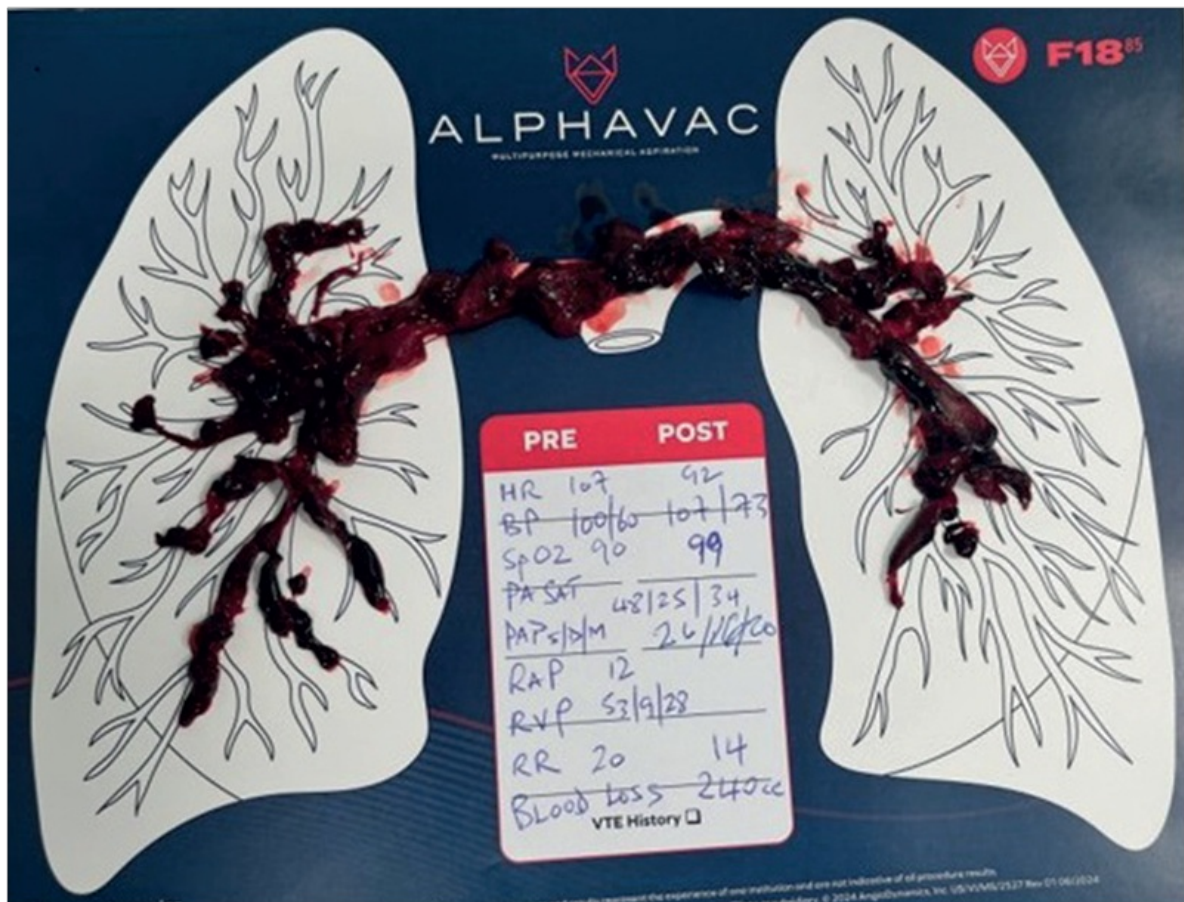
Det primære teoretiske rationale bag USAT er, at man ved at kombinere fysisk og farmakologisk trombolyse kan opnå en mere effektiv behandling med lavere doser og kortere infusionstider, hvilket potentielt reducerer risikoen for blødningskomplikationer. Dog er den kliniske værdi af UL-komponenten fortsat omdiskuteret, og studier har søgt at afklare, om USAT reelt har en fordel frem for traditionel CDT uden anvendelse af UL [9]. Samtidig er de økonomiske omkostninger ved USAT højere end ved CDT, hvilket også bør vægtes i den kliniske beslutningsproces.

Flere studier af USAT har vist forbedring i højre ventrikel-funktion uden signifikant øget blødningsrisiko sammenlignet med heparin, f.eks. ULTIMA og SEATTLE II [10, 11] (Tabel 1). Danske og internationale randomiserede studier – STRATIFY og HI-PEITHO [12, 13] (Tabel 1) – afventer publicering og vil potentielt få betydning for fremtidige retningslinjer. OPTALYSE PE-studiet (2018) er et randomiseret multicenterforsøg, som undersøgte optimal dosering og behandlingstid ved USAT. Fire forskellige USAT-regimer blev testet: doseringer fra 4 til 12 mg pr. kateter over 2-6 timer. Studiet viste, at selv de laveste doser og korteste infusionstider gav betydelige forbedringer i højre ventrikels funktion og trombebyrde sammenlignet med heparin, uden at øge risikoen for større blødninger [4]. Dette har medført en bevægelse mod »lavdosis og kort infusionstid« i flere behandlingsprotokoller.

KATETERBASERET EMBOLEKTOMI

Kateterbaseret embolektomi er en nonfarmakologisk, mekanisk behandlingsmodalitet, der anvendes til akut fjernelse af tromber fra pulmonalarterierne (Figur 2). Metoden er særlig relevant for patienter med kontraindikationer for trombolyse, manglende effekt af systemisk trombolyse, eller hvor hurtig reduktion af trombebyrden er påkrævet for at undgå hæmodynamisk dekomensation.

FIGUR 2 En 49-årig mand blev indlagt med stor saddelemboli opstået efter immobilisering i forbindelse med intracerebral blødning. På andendagen efter diagnose og heparinisering var der vedvarende stort O₂-behov samt takykardi. Blodtryk var normalt, og der var ingen laktatstigning. Der blev gjort embolektomi med AlphaVac-systemet, og der blev udhentet et stort trombevolumen (se billedet) med umiddelbar effekt på O₂-behovet. Patienten blev udskrevet til videre rehabilitering.



Embolektomi udføres via et højkaliberkateter, der typisk føres frem under fluoroskopisk vejledning via v. femoralis eller v. jugularis til den afficerede pulmonalarterie. FlowTrieveer-systemet er det mest anvendte system i klinisk praksis og kombinerer mekanisk trombefragmentering med aspiration i et 24 Fr stort design.

Fordelen ved mekanisk embolektomi er muligheden for hurtig og omfattende trombereduktion uden anvendelse af trombolytiske lægemidler, hvilket minimerer risikoen for større blødninger – en særlig gevinst hos patienter med nylige operationer, intracerebrale tilstande eller aktiv blødning samt gravide. Dog er der også potentielle komplikationer forbundet med proceduren, herunder kar- og myokardieperforation, rytmeforstyrrelser og distal embolisering. Teknikken kræver betydelig erfaring og ekspertise og er teknisk bedst egnet til centralt beliggende

voluminøse tromber.

I et stort, randomiseret studie PEERLESS I (Tabel 1) viste mekanisk embolektomi bedre kliniske resultater end CDT, især færre tilfælde af klinisk forværring og behov for intensivindlæggelse [14]. Flere studier – bl.a. PEERLESS II [15], STRATIFY II (Tabel 1) – er i gang og vil kunne give mere robuste data på mortalitet og langtidsudfald.

DISKUSSION

Udviklingen af kateterbaserede behandlinger af patienter med intermediær-høj risiko- og høj risiko-lungeemboli har potentiel indflydelse på fremtidige guidelines og behandlingsstrategier. De eksisterende data indikerer, at kateterbaserede metoder – herunder CDT, USAT og mekanisk embolektomi – kan reducere belastningen af højre ventrikel og risikoen for klinisk forværring med samtidig lavere blødningsrisiko sammenlignet med fulddosis trombolyse. Dette er særlig relevant for patienter med intermediær-høj risiko, hvor fulddosis trombolyse er forbundet med betydelig risiko for blødningskomplikationer, og hvor behandling med heparin er forbundet med en ikke ubetydelig risiko for klinisk forværring og i værste fald hjertestop og død.

Implementering af disse teknikker i klinisk praksis i Danmark vil kræve etablering af centerspecialiserede akutteams, erfaring med kateterbaserede procedurer samt klare kriterier for patientudvælgelse. Internationale erfaringer fra centre i USA og Europa viser, at standardiserede protokoller for selektion, trombolysedosering og opfølgning er afgørende for sikkerhed og effekt. Kateterbaseret behandling af lungeemboli tilbydes aktuelt på hjertecentrene i København, Odense og Aarhus. Behandlingen er relevant som akut (eller subakut, dvs. dagen efter diagnose) behandling hos patienter med intermediær-høj risiko- eller høj risiko-lungeemboli, og særligt hvor der er bekymring for blødning ved trombolyse.

Evidensen for kateterbaserede behandlinger består hovedsageligt af små RCT'er og prospektive kohorter med kort opfølgning, ofte med surrogate endepunkter som RV/LV-ratio eller pulmonalt arterietryk, frem for kliniske hårde endepunkter som mortalitet, behov for intensiv behandling og udvikling af kronisk tromboembolisk hypertension. Variationen i komparatorer, doseringsregimer og endepunkter gør direkte sammenligning mellem studier udfordrende. Store multicenter-RCT'er, såsom HI-PEITHO, PEERLESS II og PEITHO-3, vil bidrage væsentligt til at klarlægge klinisk effekt, sikkerhed og optimal patientudvælgelse. Fremtidige guidelines kan derfor forventes at inkludere kateterbaserede metoder som et alternativ til systemisk trombolyse hos nøje udvalgte patienter med intermediær-høj risiko, især i centre med erfaring og kapacitet til akut intervention. Samtidig vil yderligere data på langsigtede outcomes og sammenligning mellem CDT, USAT og mekanisk embolektomi kunne præcisere valg af metode.

Sammenfattende peger de nuværende studier på, at kateterbaserede behandlinger er et lovende supplement til eksisterende terapi, men evidensen er endnu ikke tilstrækkelig til bred implementering uden for specialiserede centre. Igangværende studier vil sandsynligvis definere den fremtidige rolle i behandlingen af lungeemboli med intermediær-høj risiko, både nationalt og internationalt.

KONKLUSION

Kateterbaserede behandlinger repræsenterer et vigtigt fremskridt i behandlingen af lungeemboli med intermediær-høj og høj risiko. Både CDT, kateterbaseret USAT og kateterbaseret embolektomi har vist sig sikre og effektive i selekterede populationer.

Der er behov for yderligere data fra større, randomiserede studier med klinisk relevante endepunkter som eksempelvis HI-PEITHO og PEERLESS II, før metoderne bredt kan implementeres som standardbehandling.

Indtil da bør valget af behandling bero på en individuel risikovurdering, lokal ekspertise og centerkapacitet.

Korrespondance *Emilie Sonne-Holm*. E-mail: Emilie.sonne-holm.01@regionh.dk

Antaget 7. oktober 2025

Publiceret på ugeskriftet.dk 15. december 2025

Interessekonflikter ME oplyser om støtte fra Alnylam Pharma. RS oplyser om Institutional Grant fra Novo Nordisk Fonden, Endepunktskomite, Danblock study, kongresudgifter og rejseomkostninger dækket af Abbott samt DSMB sponsoreret af Novo Nordisk, The Artimes trial. AA oplyser om betaling fra Inary Medical, Phillips, Janssen Cilag og Gore Medical. LH oplyser om støtte fra Boston Scientific. Alle forfattere har indsendt ICMJE Form for Disclosure of Potential Conflicts of Interest. Disse er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2025;187:V07250571

doi 10.61409/V07250571

Open Access under Creative Commons License [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

SUMMARY

Catheter-based treatment for patients with acute pulmonary embolism

Catheter-based therapies such as catheter-directed thrombolysis, ultrasound-assisted thrombolysis, and mechanical embolectomy are emerging as alternatives for intermediate-high risk pulmonary embolism, offering targeted treatment with reduced bleeding risk. Early studies show promising outcomes but evidence remains limited. Ongoing randomized trials, including HI-PEITHO and PEERLESS II, aim to clarify efficacy and safety. Until results are available, treatment should be guided by individual risk assessment, local expertise, and centre capabilities, as argued in this review.

REFERENCER

1. Sonne-Holm E, Kjærgaard J, Bang LE, et al. Pulmonary embolism: age specific temporal trends in incidence and mortality in Denmark 1999-2018. *Thromb Res.* 2021;210:12-19. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2021.12.011>
2. Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS): The Task Force for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Respir J.* 2019;54(3):1901647. <https://doi.org/10.1183/13993003.01647-2019>
3. Meyer G, Vicaut E, Danays T, et al. Fibrinolysis for patients with intermediate-risk pulmonary embolism. *N Engl J Med.* 2014;370(15):1402-1411. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1302097>
4. Tapson VF, Sterling K, Jones N, et al. A randomized trial of the optimum duration of acoustic pulse thrombolysis procedure in acute intermediate-risk pulmonary embolism: The OPTALYSE PE trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018;11(14):1401-1410. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2018.04.008>
5. Liang NL, Avgerinos ED, Singh MJ, et al. Systemic thrombolysis increases hemorrhagic stroke risk without survival benefit compared with catheter-directed intervention for the treatment of acute pulmonary embolism. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2017;5(2):171-176.e171. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2016.11.005>
6. Arora S, Panaich SS, Ainani N, et al. Comparison of in-hospital outcomes and readmission rates in acute pulmonary embolism between systemic and catheter-directed thrombolysis (from the National Readmission Database). *Am J Cardiol.*

- 2017;120(9):1653-1661. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2017.07.066>
7. Sadeghipour P, Jenab Y, Moosavi J, et al. Catheter-directed thrombolysis vs anticoagulation in patients with acute intermediate-high-risk pulmonary embolism: The CANARY randomized clinical trial. *JAMA Cardiol.* 2022;7(12):1189-1197. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2022.3591>
 8. Kroupa J, Buk M, Weichet J, et al. A pilot randomised trial of catheter-directed thrombolysis or standard anticoagulation for patients with intermediate-high risk acute pulmonary embolism. *EuroIntervention.* 2022;18(8):e639-e646. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-21-01080>
 9. Beyer SE, Shanafelt C, Pinto DS, et al. Utilization and outcomes of thrombolytic therapy for acute pulmonary embolism: a nationwide cohort study. *Chest.* 2020;157(3):645-653. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.10.049>
 10. Kucher N, Boekstegers P, Müller OJ, et al. Randomized, controlled trial of ultrasound-assisted catheter-directed thrombolysis for acute intermediate-risk pulmonary embolism. *Circulation.* 2014;129(4):479-486. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005544>
 11. Piazza G, Hohlfelder B, Jaff MR, et al. A prospective, single-arm, multicenter trial of ultrasound-facilitated, catheter-directed, low-dose fibrinolysis for acute massive and submassive pulmonary embolism: The SEATTLE II study. *JACC Cardiovasc Interv.* 2015;8(10):1382-1392. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2015.04.020>
 12. Kjærgaard J, Carlsen J, Sonne-Holm E, et al. A randomized trial of low-dose thrombolysis, ultrasound-assisted thrombolysis, or heparin for intermediate-high risk pulmonary embolism - the STRATIFY trial: design and statistical analysis plan. *Trials.* 2024;25(1):853. <https://doi.org/10.1186/s13063-024-08688-4>
 13. Klok FA, Piazza G, Sharp ASP, et al. Ultrasound-facilitated, catheter-directed thrombolysis vs anticoagulation alone for acute intermediate-high-risk pulmonary embolism: rationale and design of the HI-PEITHO study. *Am Heart J.* 2022;251:43-53. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2022.05.011>
 14. Jaber WA, Gonsalves CF, Stortecky S, et al. Large-bore mechanical thrombectomy versus catheter-directed thrombolysis in the management of intermediate-risk pulmonary embolism: primary results of the PEERLESS randomized controlled trial. *Circulation.* 2025;151(5):260-273. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.124.072364>
 15. Giri J, Mahfoud F, Gebauer B, et al. PEERLESS II: a randomized controlled trial of large-bore thrombectomy versus anticoagulation in intermediate-risk pulmonary embolism. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv.* 2024;3(6):101982. <https://doi.org/10.1016/j.jscai.2024.101982>