

Echokardiografie u plicní embolie

Marián Felšöci

Interní kardiologická klinika, Fakultní nemocnice Brno a Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, Brno

Echokardiografie se řadí mezi nejdůležitější a nejčastěji používané zobrazovací metody v diagnostice plicní embolie (PE). Na rozdíl od angiografie či scintigrafie plic sice neposkytuje přímou informaci o anatomických poměrech v plicním řečišti a místě jeho obstrukce, ale o hemodynamických dopadech na pravé srdce. Je důležitým článkem v časné rizikové stratifikaci nemocných, a to zejména u těžších forem PE a v některých případech může rozhodovat i o způsobu zahájení léčby nebo o nutnosti zvýšeného dohledu na jednotce intenzivní péče. Mimo jiné umožňuje získat důležité diferenciálně diagnostické informace o dalších potencionálních příčinách symptomů napodobujících PE. Je taktéž základním screeningovým nástrojem v diagnostice chronické tromboembolické plicní hypertenze u nemocných po prodělané epizodě PE i přes účinnou antikoagulační léčbu. V tomto článku se budeme zabývat postavením echokardiografie v managementu nemocných s PE a rozebereme jednotlivé echokardiografické parametry, které nás přivádí k diagnóze, způsob jejich akvizice a limitace v hodnocení.

Klíčová slova: echokardiografie, plicní embolie, diagnostika, riziková stratifikace.

Echocardiography in pulmonary embolism

Echocardiography is considered as important and frequent imaging method in the diagnostics of pulmonary embolism (PE). In fact, when compared to angiography or nuclear scanning, it does not detect a direct site of the occlusion of the pulmonary arteries but visualizes hemodynamical consequences of the obstruction on the right heart. Echocardiography has a key role in the management of patients with severe forms of PE and in some cases, its crucial for the decision making when reperfusion therapy is considered or when increased monitoring of the patients at intensive care unit is required. Also, it allows to detect other potential causes of the symptoms that could mimic PE. Furthermore, it is a main screening method in the detection of chronic thromboembolic pulmonary hypertension, in persons with persisting symptoms of dyspnoea and fatigue after the episode of PE, despite the anticoagulative treatment. In this article we will discuss the role of echocardiography in the management of patients with PE, we will analyse single parameters, that clarify the diagnosis, and we will also mention the limitations of the method.

Key words: echocardiography, pulmonary embolism, diagnostics, risk stratification.

Úvod

Plicní embolie (PE) patří mezi nejčastější příčiny kardiovaskulární mortality a morbidit v vyspělých zemích se vzestupným výskytem v posledních desetiletích. Počet případů roste se stárnutím populace, s lepší dostupností a kvalitou zobrazovacích metod používaných v běžné medicínské praxi, ale i se výšeným povědomím o tromboembolické nemoci.

Echokardiografie se řadí mezi nejdůležitější a nejčastěji používané zobrazovací metody v diagnostice PE, i když neposkytuje přímou informaci o plicním řečišti, ale hemodynamických dopadech obstrukce plicních cév na pravé srdce. Je důležitým článkem v časné rizikové stratifikaci nemocných, a to zejména u těžších forem PE a v některých případech může rozhodovat i o způsobu

DECLARATIONS:

Declaration of originality:

The manuscript is original and has not been published or submitted elsewhere.

Ethical principles compliance:

The authors attest that their study was approved by the local Ethical Committee and is in compliance with human studies and animal welfare regulations of the authors' institutions as well as with the World Medical Association Declaration of Helsinki on Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects adopted by the 18th WMA General Assembly in Helsinki, Finland, in June 1964, with subsequent amendments, as well as with the ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, updated in December 2018, including patient consent where appropriate.

Conflict of interest and financial disclosures:

None.

Funding/Support:

Supported by MZ ČR – RVO (FNBr, 65269705).

Cit. zkr: Interv Akut Kardiolog. 2024;23(2-3):69-74

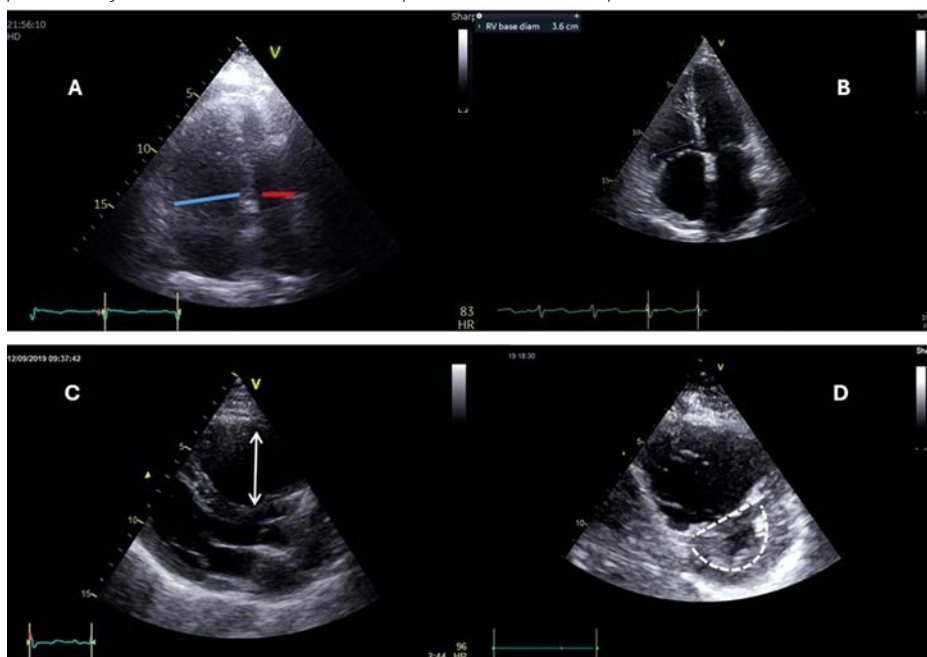
<https://doi.org/10.36290/kar.2024.018>

Článek přijat redakcí: 29. 10. 2024

MUDr. Marián Felšöci, Ph.D.

felsoci.marian@fnbrno.cz

Obr. 1. Dilatace pravé komory. A) bazální rozměr pravé komory (PK, modrá čára) přesáhne rozměr báze levé (LK, červeně); poměr PK/LK je > 1 ; můžeme si všimnout, že kvalita zobrazení je horší kvůli poloze nemocné v polosedě při tachypnoe. B) u ženy s PE menšího vzrůstu nedosahuje PK absolutní hodnoty > 41 mm, v poměru k velikosti LK je ale dilatace PK přítomná. C) patrné zvětšení PK v parasternální projekci na dlouhou osu LK (PK vyznačená obousměrnou šipkou). D) oploštění mezikomorového septa při tlakovém přetížení objemné PK; utlačená LK získá tvar písmena D (tzv. „D-shape“ LK)



zahájení léčby. Mimo jiné umožňuje získat důležité diferenciálně diagnostické informace o jiných potencionálních příčinách symptomů napodobujících PE jako jsou akutní koronární syndromy, disekce aorty, srdeční selhání nebo tamponáda. Je tedy velmi užitečným doplněním metod, které jsou považovány za zlatý standard v diagnostice PE a které přímo potvrzují okluzi plicních tepen. Patří mezi ně angiografické vyšetření plicního řečiště počítačovou tomografií (CTAG), případně konvenční angiografie plicního oběhu a nukleární ventilačně-perfuzní scintigrafie plic (VP sken). Echokardiografie má několik nesporných výhod. Je vyšetřením, které je neinvazivní, dobře dostupné, lze jej snadno opakovat (a to i přímo u lůžka nemocného), není spojeno s aplikací kontrastní látky či radiační zátěží, neklade nároky na organizaci personálu a v neposlední řadě je i ekonomicky úsporné. Lze jí s výhodou využít u oběhově nestabilních nemocných, nebo při nedostupnosti či kontraindikacích CTAG nebo scintigrafie (1).

V tomto článku se budeme zabývat úlohou echokardiografie v managementu nemocných s PE a rozebereme jednotlivé echokardiografické parametry, které nás přivádí k diagnóze.

Role echokardiografie v diagnostice PE

Evropská kardiologická společnost (ESC) rozděluje PE podle závažnosti a rizika 30-denní mortality do čtyř kategorií. Nemocní s oběhovou nestabilitou jsou nejvíce obávanou populací, definující skupinu s vysokým rizikem. Do druhé kategorie, tzv. vyššího středního rizika, řadíme pacienty hemodynamicky stabilní, nicméně s přítomnou dysfunkcí/ přetížením pravé srdeční komory (PK) na zobrazovacím vyšetření a zároveň se zvýšenými srdečními troponiny, jako známkou myokardiálního poškození PK. Pokud je detekováno pouze jedno z uvedeného (pozitivní zobrazovací vyšetření anebo laboratorní nález), jedná se o pacienty s nižším středním rizikem. Oběhově stabilní nemocní s průkazem PE na zobrazovacím vyšetření a bez známek dysfunkce PK s normální hladinou srdečních troponinů spadají do kategorie nízkého rizika.

Známky přetížení/dysfunkce pravého srdce vyvolané obstrukcí plicního řečiště detekovatelné echokardiograficky mohou pomoci podpořit podezření na PE a mají klíčovou roli v rizikové stratifikaci nemocných do výše uvedených kategorií. Nutné je zdůraznit, že žádný z těchto echokardiografických parametrů a známek diagnózu PE nepotvrzuje. Pokud je to klinicky

možné, měla by být PE potvrzována přímým zobrazením plicního oběhu, tedy obvykle pomocí CTAG plicních cév nebo scintigrafickým vyšetřením plic. Echokardiografické parametry a známky, které pozorujeme u akutní PE, je totiž možné detekovat i u jiných onemocnění v nepřítomnosti PE. Na druhou stranu, negativní echokardiografické vyšetření diagnózu nevylučuje. Proto se senzitivita metody udává kolem 50% a její negativní prediktivní hodnota se pohybuje jen mezi 40 až 50%.

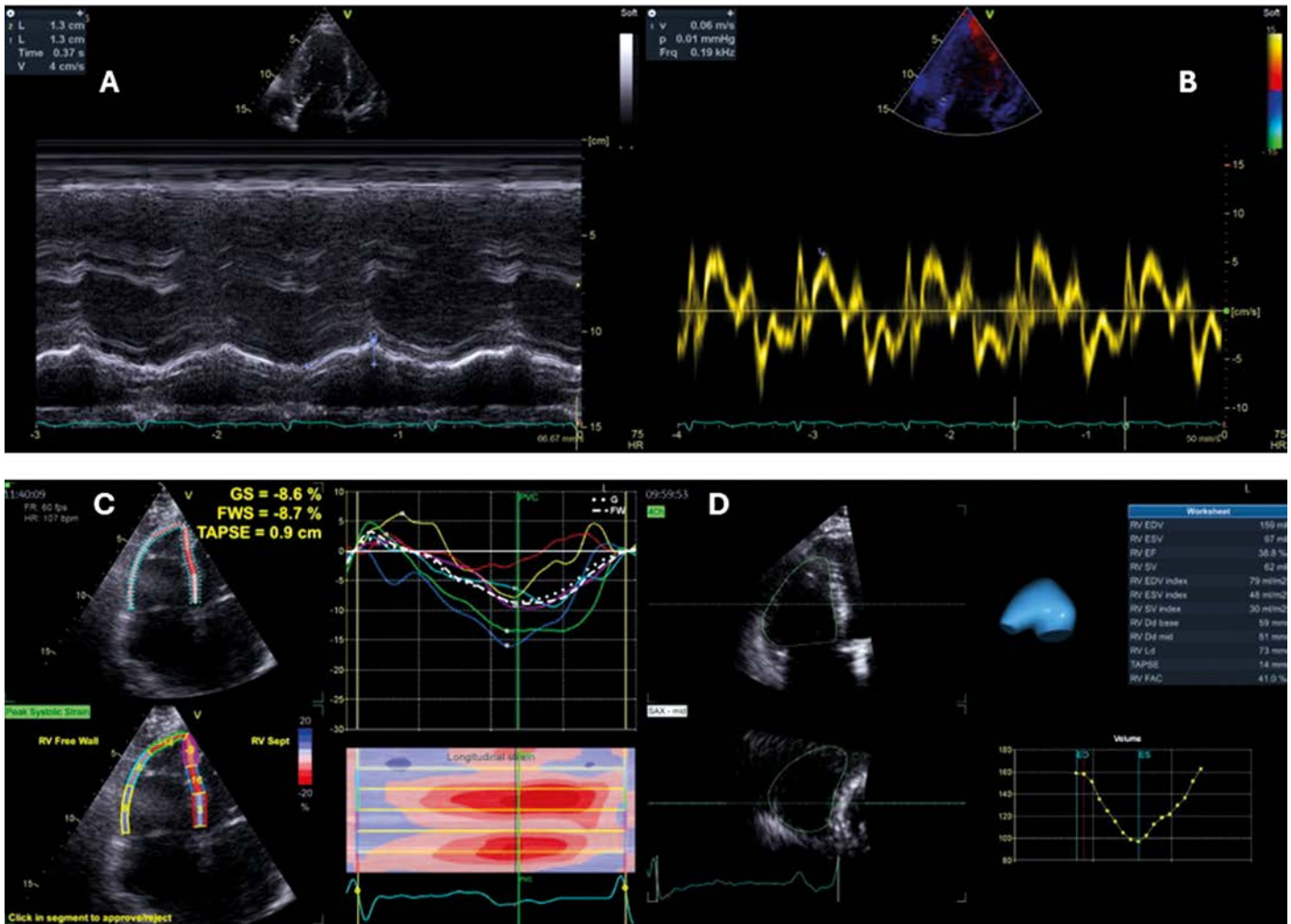
U hemodynamicky stabilních pacientů se zvýšením srdečních troponinů umožní echokardiografie při nálezů dysfunkce či přetížení pravého srdce odlišit PE s vyšším a nižším středním rizikem, tedy může predikovat rozvoj případné oběhové nestability. Pacienti s průkazem dysfunkce PK jednoznačně patří na jednotku intenzivní péče k monitoraci vitálních funkcí a observaci dalšího vývoje. U oběhově nestabilních nemocných s vysokým předpokladem diagnózy PE, kteří nejsou schopni podstoupit konfirmační CTAG vyšetření nebo mají pro vyšetření absolutní kontraindikaci, je pak hlavním rozhodovacím nástrojem pro zahájení reperfuční léčby (2).

Echokardiografické známky detekovatelné u PE

Podstatou přetížení pravého srdce u PE je zvýšený afterload a zvýšení plicní cévní rezistence vyvolané obstrukcí plicních tepen při nově vzniklé plicní hypertenzi. To vede k nedostatečné náplni levostranných srdečních oddílů, snížení srdečního výdeje s následným rozvojem systémové hypotenze. Pokud není PK schopna překonat zvýšený odpor plicního oběhu udržet dostatečný průtok, začne dilatovat a selhávat. Tento stav detekujeme echokardiograficky kombinací dopplerovských a dvourozměrných měření. Známky dysfunkce PK jsou pozorovány u přibližně jedné třetiny hemodynamicky stabilních nemocných s PE a právě tyto vyžadují důslednou monitoraci vitálních funkcí pro riziko rozvoje oběhové nestability (3).

Dilatace pravé srdeční komory. Za normálních podmínek je pravá komora menší než levá (LK). Její dilatace je detekována nejlépe z apikální 4-dutinové projekce, kdy její bazální rozměr přesáhne rozměr báze LK (poměr PK/LK > 1 , viz Obr. 1A). Při apikálním zobrazování je potřeba se vyvarovat nepřiměřeného

Obr. 2. Parametry funkce pravé komory. A) měření exkurze pohybu laterálního okraje trikuspidálního anulu během srdečního cyklu v M-mode zobrazení (TAPSE); hodnota 13 mm signalizuje systolickou dysfunkci. B) vrcholová systolická rychlosti S' pohybu trikuspidálního anulu hodnocená pomocí tkáňového Dopplera; hodnota 6 cm/s znamená systolickou dysfunkci PK. C) longitudinální strain volné stěny PK (FWS – free wall strain) získaný metodou speckle-tracking. Hodnota -8,7 % odpovídá pokročilé systolické dysfunkci PK. D) 3D volumetrie s výpočtem ejekční frakce PK u nemocného s PE; hodnota 38,8 % je projevem snížené systolické funkce dilatované PK



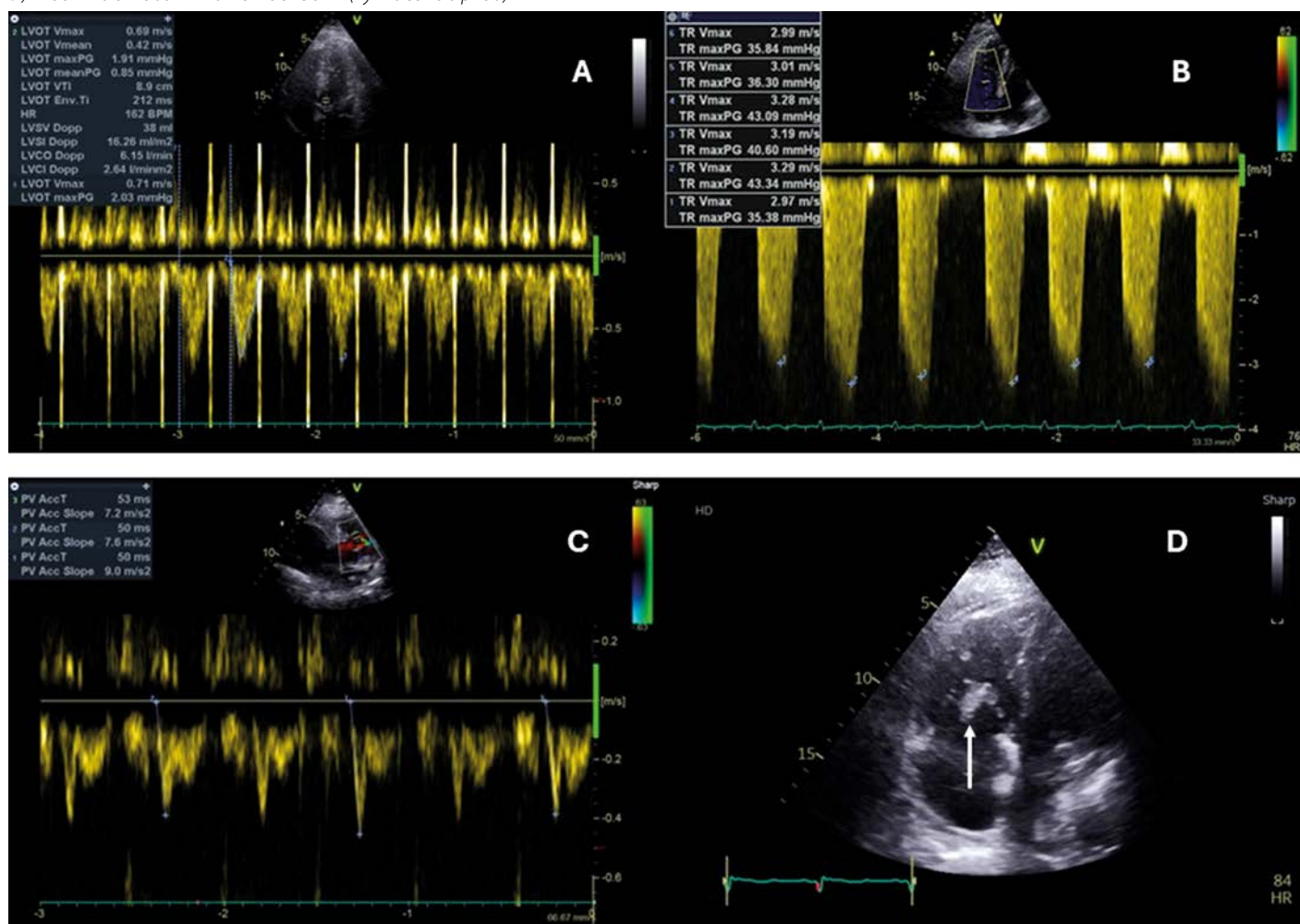
nadhodnocení velikosti PK (při nadměrném posunu sondy více ke sternu) nebo falešného zkrácení dlouhé osy srdce (tzv. foreshortening) při pozici sondy ve vyšších mezižebří. Dilataci lze kvantifikovat 2D měřením rozměru PK v diastole v oblasti bazálního příp. středního segmentu PK s cut-off hodnotami > 41 mm resp. > 35 mm (4). U osob menšího vzrůstu, kdy absolutní rozměry PK mohou být ještě mezích normy, je ale důležité orientovat se spíše poměrem bazálních velikostí obou komor (Obr. 1B). Nápomocné může být hodnocení srdečního hrotu. Hrot srdce je ve 4-dutinové apikální projekci za normálních okolností formován levou komorou. U pacientů s dilatací PK může být tento odtlačen a nahrazován právě komorou pravou. Známky dilatace PK by měli být patrné i z jiných pozic, a to zejména z parasternální projekce na dlouhou i krátkou osu, kdy dochází k oploštění interventrikulárního

septa (zejména v systole) s obrazem D-tvaru LK při jejím útlaku (Obr. 1C a 1D).

Parametry systolické dysfunkce pravé komory. Nejčastěji používaným parametrem hodnotícím systolickou funkci PK je měření exkurze pohybu laterálního okraje trikuspidálního anulu během srdečního cyklu v M-mode zobrazení v apikální 4-dutinové projekci, tzv. TAPSE parametr (tricuspid annular planar systolic excursion). Není sice měřením reprezentujícím globální výkonnost PK, ale spíše její longitudinální funkci, nicméně prokázal dobrou korelaci s měřením ejekční frakce PK hodnocené nukleárními metodami. Pokles < 16 mm je známkou systolické dysfunkce PK (Obr. 2A). Obdobným parametrem jako je TAPSE, je měření vrcholové systolické rychlosti S' trikuspidálního anulu pomocí tkáňového Dopplera. Za patologickou je považována hodnota pod 9,5 cm/s (Obr. 2B). Získává se taktéž z apikální

4-dutinové projekce a má podobné limity jako TAPSE. Reprodukce longitudinálního pohybu bazální části PK, nevypovídá ale o funkci středních a apikálních segmentů. U obou zmíněných metod je pro validitu měření nevyhnutné dodržet směr pohybu roviny trikuspidálního anulu kolmo k sondě (2, 3). K hodnocení celé volné stěny PK lze použít globální longitudinální strain získaný metodou speckle-tracking. Vyjadřuje procentuální změnu pohybů bodů (tzv. speckles) bazálního, středního a apikálního segmentu PK během systolické fáze srdečního cyklu. Je tedy ukazatelem kontrakce celé volné stěny od její báze k hrotu. Metoda je uhlově nezávislá a za patologickou hodnotu je považovaný pokles pod 20 % v absolutních hodnotách (hodnota je kalkulovaná jako minusové číslo, Obr. 2C). Parametrem zohledňujícím volnou stěnu PK i mezikomorové septum je pak frakční změna plochy (FAC – fractional area

Obr. 3. Průtokové parametry a detekce intrakardiální trombózy. A) časově rychlostí integrál (VTI – velocity time integral) z oblasti výtokového traktu LK je ekvivalentem srdečního výdeje a hodnota 8,9 cm u nemocného s PE znamená nízký tepový objem; minutový srdeční výdej je udržen jen za cenu výrazné tachykardie (162/minutu). B) odhad systolického tlaku v plicním oběhu (PASP – pulmonary artery systolic pressure) vychází z měření velikosti maximální rychlosti trikuspidální regurgitace s připočtením hodnoty odhadovaného centrálního žilního tlaku; u nemocné s akutní PE je PASP odhadován na hodnotu 45 mmHg a potvrzuje přítomnost prekapilární plicní hypertenze. C) zkrácení akceleračního času na křivce z RVOT pod 60 ms, je snahou PK o překonání odporu daného obstrukcí plicního řečiště v časně systole a je typicky doprovázeno dvouvrcholovým charakterem průtokové křivky v RVOT; nemocná s PE s vyšším středním rizikem. D) mobilní trombus v PK u nemocné s PE (vyznačeno šipkou)



change), hodnotící procentuální změnu plochy PK v systole a diastole. Pokles FAC pod 35 % je indikátorem systolické dysfunkce. Hodnotí se opět ze 4-dutinové projekce a klade nároky na dostatečně kvalitní zobrazení endokardu v daném rozsahu (5). U volné stěny PK je potřeba ještě zmínit jednu důležitou echokardiografickou známku pojící se s její kinetikou a často pozorovanou u PE – McConnellovo znamení. Jde o akinézu středního segmentu volné stěny PK, zatímco kinetika hrotu PK zůstává zachována. Co je příčinou tohoto nálezu není doposud spolehlivě vysvětleno (uvažuje se nad zvýšeným tažením hrotu PK hyperdynamickou LK, sférickou redistribucí tlaku v PK, případně ischemickým poškozením stěny PK) (6).

Méně často používané parametry hodnotící funkci PK. V klinické praxi méně používaným parametrem je tzv. Tei index pravé

komory. Tento poukazuje na globální funkci PK a je vyjádřen podílem izovolumického času (součtu času izovolumické kontrakce a relaxace) k času kontrakce (ejekce) PK. Je možné jej měřit pulzním nebo tkáňovým Dopplerem (horní hranice normy jsou 0,43 resp. 0,54). Parametr se obtížně hodnotí v akutních podmínkách spojených s PE, kdy je často vyjádřena tachykardie a tachypnoe (5). Novější metodou v hodnocení funkce PK je 3D volumetrie s výpočtem její ejekční frakce. Patří mezi vůbec nejpřesnější echokardiografické nástroje v hodnocení komplexní anatomie PK (tedy její vtokové i výtokové části) a prokázala dobrou korelaci s nukleárními metodami a magnetickou rezonancí. Jejím většímu využití v běžné klinické praxi nicméně brání vyšší cena technického zázemí nutného pro vyšetření (3D

sonda a softwarové aplikace), kterými disponuje poměrně malé množství laboratoří. Další limitací je nutnost dostatečné kvality obrazu s dobrou akvizicí endokardiálního rozhraní PK, které jsou v akutních situacích zejména u nestabilních pacientů často obtížně získatelné (Obr. 2D). Normální hodnoty ejekční frakce PK kalkulované touto metodou jsou hodnoty nad 45 % (7).

Parametry srdečního výdeje. Časově rychlostí integrál (VTI – velocity time integral) z oblasti výtokového traktu LK (LVOT – left ventricular outflow tract) je po vynásobení velikostí jeho plochy běžně používaným nástrojem pro výpočet tepového objemu (SV – stroke volume) a srdečního výdeje (CO – cardiac output). Ukazuje se, že již pouhé měření VTI s poklesem jeho hodnot pod 15 cm, může být u PE lepším prediktorem nepříznivého vývoje než TAPSE

či vrcholová rychlost S' měřená na trikuspidálním anulu pomocí tkáňového Dopplera (8). Měření VTI se provádí z apikální 5-dutinové projekce se vzorkovacím objemem pulzního Dopplera v oblasti pod aortální chlopní. Nelze jej uplatnit u nemocných se subvalvární aortální stenózou, dynamickou obstrukcí LVOT nebo hemodynamicky významnou aortální regurgitací (Obr. 3A). Obdobným parametrem se stejným prognostickým významem je i měření VTI v oblasti výtokového traktu PK (RVOT), z projekce na parasternální krátkou osu. Zdá se, že hodnota RVOT VTI pod 9,5 cm je spolehlivým ukazatelem nízkého srdečního výdeje, přetížení pravého srdce a nepříznivého vývoje u PE (9). U obou měření je nutné respektovat základní principy akvizice dopplerovského signálu, tedy zejména co nejvíce eliminovat incidenční uhel mezi směrem krevního toku a paprskem pulzního Dopplera.

Parametry zvýšeného afterloadu PK. Tímto je zejména odhad systolického tlaku v arteria pulmonalis (PASP – pulmonary artery systolic pressure), který musí být pravou komoru překonán během systoly. Echokardiograficky je kalkulován z měření velikosti maximální rychlosti trikuspidální regurgitace (Obr. 3B) s připočtením hodnoty odhadovaného centrálního žilního tlaku (tato vychází z diametru dolní duté žíly a jejího případného kolapsu během respirace). Pokud je parametr hodnocen v poměru k TAPSE, je ukazatel TAPSE/PASP ideálním korelátem spřažení (tzv. couplingu) mezi PK a plicní tepnou. V situaci rozvoje akutní PE reaguje PK na zvýšení afterloadu zvýšením kontraktility. Se zvyšujícím se přetížením ale dochází k vyčerpání kontraktilní rezervy PK, její dilataci a poklesu systolické funkce. Poměr TAPSE/PASP klesá při poklesu TAPSE a nárůstu PASP. Normální hodnota poměru se ohybuje mezi 0,8–1,8, pokles poměru pod hodnotu 0,4 je u PE známkou zvýšeného rizika hemodynamické nestability a zvýšené mortality (10). Parametr může selhávat u nemocných s již rozvinutým šokovým stavem a těžkou hypotenzí, kdy PASP bývá paradoxně nízký. Naopak u nemocných s chronickou plicní hypertenzí, kdy je PK schopna adaptace na dlouhodobé tlakové přetížení, bude hodnota poměru nižší než bývá pozorována při akutní PE.

Znamení 60/60. Je další známkou zvýšeného afterloadu PK u PE. Je získáno

dopplerovským PW měřením charakteru krevního krevního průtoku v oblasti RVOT v kombinaci s velikostí vrcholového gradientu trikuspidální regurgitace měřené pomocí kontinuální Dopplera. Zkrácení akceleračního času na křivce z RVOT pod 60 ms, je snahou PK o překonání odporu daného obstrukcí plicního řečiště a zvýšené plicní vaskulární rezistence v časně systole. Zkrácení akceleračního času je doprovázeno dvouvrcholovým charakterem průtokové křivky v RVOT (Obr. 3C). Vrcholový systolický gradient trikuspidální regurgitace do 60 mm Hg je odrazem zvýšeného tlaku v plicním řečišti (tedy přímým korelátem plicní hypertenze). Pokud je u akutní PE detekován gradient vyšší než 60 mm Hg, měli bychom zvažovat, zda u nemocného není přítomné již chronické přetížení pravého srdce, nejčastěji na podkladě chronické tromboembolické plicní hypertenze (11). Častou tento nálezní potvrzuje i současně přítomná hypertrofie volné stěny PK.

Ukazatel plicní arteriální elastance, poměr PASP/SV. Jak již bylo zmíněno, u hemodynamicky kompromitující PE dochází k rozvoji hypotenze z důvodů sníženého srdečního výdeje LK. Tento je důsledkem poklesu jejího plnění při selhávající PK spojeného s obstrukcí plicního řečiště. Tepový objem je kalkulovaný známým výše uvedeným způsobem z oblasti LVOT. Poměr PASP/SV nad 1 mm Hg/ml může být relativně spolehlivým prediktorem nepříznivého vývoje u nemocných s PE se středním rizikem, a to dokonce lepším, než je pouhé měření VTI z oblasti LVOT či RVOT (12).

Přítomnost mobilního trombu v pravostranných oddílech. Tento navazuje na hlubokou žilní trombózu jako zdroj embolizace, bývá proto zpravidla elongovaného tvaru a je bez adekvátní léčby spojen s vysokou mortalitou (Obr. 3D). Je detekován u relativně malého počtu nemocných s PE, nicméně jeho nálezní potvrzuje diagnózu i bez dalších zobrazovacích vyšetření (13).

Úskalí echokardiografie u PE

Všechny výše uvedené parametry považujeme v diagnostice PE za důležité, nicméně u individuálního nemocného nemusí být všechny nutně vyjádřeny. Při poruše kinetiky volné stěny PK nemusí snížena hod-

nota TAPSE či vrcholová rychlost S' vlny. Vše je závislé na tíži postižení ale taktéž i na dostatečné kvalitě zobrazení. Tato může být velkou výzvou zejména u nemocných v respirační tísní, kdy je vyšetření prováděno při tachypnoe a často i v nestandardní poloze v polosedě.

Provádění echokardiografického vyšetření není rutinně nutné u oběhově stabilních PE s nízkým rizikem s negativními srdečními troponiny. Zde je však přínosné v diferenciální diagnostice příčiny akutní dušnosti. Naopak u pacientů s podezřením na PE se středním a vysokým rizikem hraje echokardiografie zásadní roli pro odhad vývoje onemocnění a rozhodnutí o správně léčbě a mělo by tak být provedeno vždy. U hemodynamicky nestabilních případů absence echokardiografických známek prakticky vylučuje PE jako příčinu oběhové nestability.

V neselektovaných populacích nemocných s PE se dilatace pravostranných srdečních oddílů vyskytuje u více než 25 % pacientů, znamená 60/60 u přibližně 12 % případů, McConnellovo znamení ve 20 %. Přítomnost pravostranných srdečních trombů je udávána u méně než 4 % pacientů (2).

Závěr

Echokardiografie představuje užitečný diagnostický nástroj při podezření na akutní PE a je často nutným doplněním metod přímo zobrazujících plicní řečiště (tedy CTAG a scintigrafie plic). U vysoce rizikových, oběhově nestabilních pacientů je metodou umožňující učinit rozhodnutí o zahájení reperfuční léčby. U plicní embolie se středním rizikem může selektovat nemocné se zvýšeným předpokladem rozvoje oběhové nestability a nasměrovat je k pobytu na jednotce intenzivní péče. U pacientů s nízkým rizikem není její provedení v akutní fázi nevyhnutné, nicméně může přinést důležité informace v diferenciální diagnostice symptomů. Hraje taktéž důležitou roli po propuštění, kdy by měla být provedena vždy, pokud přetrvávají symptomy dušnosti či snížené výkonnosti, a to i přes zavedenou účinnou antikoagulační léčbu. Stává se tak hlavním screeningovým nástrojem pro záchyt chronické trombo-embolické plicní hypertenze.

Podpořeno MZ ČR – RVO (FNBr, 65269705)

LITERATURA

1. Oh JK, Park JH. Role of echocardiography in acute pulmonary embolism. *Korean J Intern. Med* 2023;38:456-470.
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). *Eur Heart J* 2020;41:543-603.
3. Nasser MF, Jabri A, Limaye S, et al. Echocardiographic evaluation of pulmonary embolism: a review. *J Am Soc Echocardiogr* 2023;36:906-912.
4. Schneider M, Binder T. Echocardiographic evaluation of the right heart. *Wien Klin Wochenschr* 2018;130:413-420.
5. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American society of echocardiography and the European association of cardiovascular imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1-39.e14.
6. Patel VI, Miles M, Shahangian S, et al. McConnell's sign: Echocardiography in the management of acute pulmonary embolism. *Clin Case Rep* 2021;9:e04994.
7. Molnár, AÁ, Sánta A, Merkely, B. Echocardiography imaging of the right ventricle: focus on three-dimensional echocardiography. *Diagnostics* 2023;13:2470.
8. Yuriditsky E, Mitchell OJ, Sibley RA, et al. Low left ventricular outflow tract velocity time integral is associated with poor outcomes in acute pulmonary embolism. *Vasc Med* 2020;25:133-40.
9. Brailovsky Y, Lakhter V, Weinberg I, et al. Right ventricular outflow Doppler predicts low cardiac index in intermediate risk pulmonary embolism. *Clin Appl Thromb Hemost* 2019;25:1076029619886062.
10. Lyhne MD, Kabrhel C, Giordano N, et al. The echocardiographic ratio tricuspid annular plane systolic excursion/pulmonary arterial systolic pressure predicts short-term adverse outcomes in acute pulmonary embolism. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021;22:285-94.
11. Shah BR, Velamakanni SM, Patel A, et al. Analysis of the 60/60 sign and other right ventricular parameters by 2D transthoracic echocardiography as adjuncts to diagnosis of acute pulmonary embolism. *Cureus* 2021;13:e13800.
12. Kamran H, Hariri EH, Iskandar J, et al. Simultaneous pulmonary artery pressure and left ventricle stroke volume assessment predicts adverse events in patients with pulmonary embolism. *J Am Heart Assoc* 2021;10:e019849.
13. Puella F, Harewood J, Lee C, et al. Thrombus in transit: the emergence of a deadly diagnosis. *Chest* 2017;152:A1021.