

Echokardiografie v intenzivní péči

Jaroslav Ulman

Koronární jednotka, III. interní-kardiologická klinika, Kardiocentrum, Fakultní nemocnice Královské Vinohrady a 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Praha, Česká republika

Ulman J. **Echokardiografie v intenzivní péči.** *Cor Vasa* 2010;52(Suppl 1):76–84.

Jde o přehledový článek, který se zabývá současnou pozicí a možnostmi echokardiografie v intenzivní medicíně. Větší pozornost věnuje neinvazivnímu hemodynamickému vyšetření.

Klíčová slova: Echokardiografie – Intenzivní péče – Neinvazivní hemodynamika

Ulman J. **Echocardiography in intensive care.** *Cor Vasa* 2010;52(Suppl 1):76–84.

This is a review article addressing the current position and potential of echocardiography in intensive medicine, focusing primarily on non-invasive hemodynamic examination.

Key words: Echocardiography – Intensive care – Non-invasive hemodynamics

Adresa: MUDr. Jaroslav Ulman, Koronární jednotka, III. interní-kardiologická klinika, Kardiocentrum, FNKV a 3. LF UK, Ruská 87, 100 00 Praha 10, Česká republika, e-mail: jarulman@gmail.com

Úvod

Echokardiografie se stále častěji využívá k diagnostice a monitoraci nemocných v intenzivní medicíně.^{1–3} Tento trend začal v kardiochirurgii a rozvinul se z peroperační, většinou jícnové echokardiografie,^{2,3} je dobře patrný na jednotkách kardiologické a kardiochirurgické intenzivní péče a v posledních letech i na nekardiologicky zaměřených jednotkách intenzivní péče (JIP). Rozvoj jednotlivých modalit echokardiografie i jejích technických aplikací umožnil další posun k lůžku nemocných na jednotkách intenzivní péče. Zejména jde o dopplerovskou echokardiografii včetně tkáňově dopplerovské echokardiografie (TDI), další zkvalitnění zobrazení dvojrozměrného obrazu (2DE) použitím vyšších harmonických frekvencí, dvojí fokusace a echokardiografických kontrastů, společně s příznivým cenovým vývojem a spolu s miniaturizací přístrojů na úroveň přenosných přístrojů. Svůj podíl na tomto vývoji má i ústup invazivního hemodynamického monitorování Swanovým-Ganzovým katetrem z klinické praxe po částečně rozpačitých výsledcích některých výzkumů.^{4–6} V současné době nejen kardiologové (v některých zemích echokardiografičtí technici či laboranti z řad středního zdravotnického personálu), ale i lékaři jiných oborů, zejména intenzivisté, přistupují k lůžku kriticky nemocného pacienta s echokardiografickou sondou v ruce.

Výhody echokardiografie v intenzivní medicíně jsou nejen diagnostické a diferenciálně diagnostické. Echokardiografie poskytuje i cenné informace při sledování trendů a vývoje

stavu hemodynamiky.^{6–10} Její velká výhoda tkví v neinvazivním charakteru vyšetření (transthorakální echokardiografie – TTE) či semiinvazivním charakteru (jícnové vyšetření – TEE) a nulové radiační zátěži, při správné logistice pak ve výtečné a téměř okamžité dostupnosti metody u lůžka a možnosti častého opakování s nulovými či minimálními materiálními náklady a nulovými (TTE), resp. minimálními (TEE) počty komplikací, kdy je uváděno 0,03% krvácení z horní části trávicí trubice, 0,01% perforace jícnu a 0,01% mortalita.¹¹

Nevýhodou je naopak nekonstantní, někdy až značně omezená vyšetřitelnost při transthorakálním echokardiografickým vyšetření zejména uměle ventilovaných nemocných, u nepolohovatelných nemocných, nemocných s emfyzémem, s úzkými mezižebními prostory, atypickým uložením srdce či u výrazně obézních nemocných. Nevýhodou je také patientský diskomfort nemocných vyšetřovaných při vědomí jícnovou sondou (TEE), který ale z větší části lze zvládnout vhodnou premedikací, medikací a manuální zručností i komunikační schopností vyšetřujícího personálu. Obě základní metody TTE a TEE se vzájemně dobře doplňují, při každém TEE vyšetření je třeba nejprve provést i TTE. Další nevýhodou je stále ještě vyšší, byť klesající základní pořizovací cena echokardiografických přístrojů (t. č. řádově miliony korun) a jícnové sondy (nyní okolo jednoho milionu korun). Relativní nevýhodou je i nutnost dobrého vycvičení vyšetřujících, které je časově i personálně náročné. Dostupnost kvalifikovaných kardiologů s erudicí

v TEE a echokardiografii v intenzivní péči není na všech jednotkách intenzivní péče v současnosti zdaleka možná, zejména pokud se týká dostupnosti 7/24 (tj. sedm dní v týdnu/24 hodin denně) a dosažitelnosti v řádu minut.

Echokardiografie v intenzivní péči je dynamická oblast na pomezí kardiologie, echokardiografie, ultrazvukových zobrazovacích metod a intenzivní medicíny, která v posledních několika letech nachází své jasné místo v klinické praxi intenzivní medicíny.

Náplň echokardiografie v intenzivní medicíně má jasné dané odlišnosti či lépe specifika ve srovnání s echokardiografií tak, jak ji známe z kardiologie. Vzniká potřeba oboru, který bude vyhovovat podmínkám intenzivní péče, bude se zabývat více a podrobně hemodynamikou a bude se více pohybovat v mezích intenzivní medicíny z části na úkor některých klasických oblastí echokardiografie, jako je například podrobné zhodnocení chlopenní vady – minimálně na nižších úrovních expertizy a výcviku.

Je mnoho publikovaných prací,^{6,10,12} které naznačují pozitivní přínos echokardiografie v intenzivní péči s pozitivním dopadem až u 97 % nemocných, ve světle evidence based medicine (EBM) tak, jak jsme dnes nejen v kardiologii zvyklí, je však obtížné nalézt data, která by přesvědčivě a jednoznačně potvrdila konkrétní pozitivní přínos echokardiografie v intenzivní péči. Nicméně si mnozí z nás již nedokáží představit jednotku intenzivní péče bez kvalitního, mobilního a plně vybaveného echokardiografického přístroje včetně jícnové, cévní a optimálně i abdominální sondy s náležitým softwarovým vybavením.

Na základech dosud platných, ale jen částečně vyhovujících doporučení velkých odborných společností, zejména Royal College of Radiology (RCR), British Society of Echocardiography (BSE), European Society of Echocardiography (EAE) a American Society of Echocardiography (ASE)^{2,3,13,14} vzniká formálně struktura rozvíjející aplikace a náplň výcviku echokardiografistů v intenzivní péči a jeho vlastní realizaci. 6. června 2006 byla v italském Miláně založena mezinárodní platforma WINFOCUS – *The World Interactive Network Focused on Critical UltraSound* (<http://www.winfocus.org>), která si klade za cíl klinický, výukový, vědecký a technologický rozvoj a spolupráci v oboru vycházející z reálných potřeb komunity patientské, odborné i technické v oblasti přednemocniční i nemocniční kritické péče. Rozvoj výukového programu echokardiografie v intenzivní péči klade velké nároky zejména na rozsáhlou mezioborovou spolupráci kardiologů a intenzivistů.

Úroveň kompetence a schéma výcviku

Úroveň způsobilosti a kompetence vyšetřujících je členěna schematicky do čtyř stupňů.¹³ Vzestupně dle erudice a kompetence následuje emergentní echokardiografie a dále stupeň způsobilosti I–III.

Emergentní echokardiografista (periresuscitačně cílená echokardiografie) je schopen vyšetřit nemocné při resuscitaci (focused echocardiographic evaluation in life support – FEEL a focused assesment with transthoracic echocardiography –

FATE), rozpozná hlavní příčiny zástavy oběhu/šoku a je schopen posoudit, kdy je třeba nemocného odeslat k podrobnému echokardiografickému vyšetření specialistou vyšší úrovně.

Úroveň specializace I. Je schopen provést echokardiografické vyšetření bezpečně a správně, získá všechny základní projekce TTE i TEE. Rozliší normální a patologickou srdeční anatomii a fyziologii. Diagnostikuje běžné kardiovaskulární patologické stavy. Rozpozná, kdy je třeba požádat o supervizi zkušenějšího kolegu (úroveň II a III). Vyšetřující na této úrovni není akreditovaný echokardiografista, ale je schopen provést velmi kvalitní echokardiografické vyšetření cílené na populaci nemocných v intenzivní péči (např. periresuscitačně) s jasnou představou o vlastních limitech a nutnosti supervize při patologických nálezech zejména tam, kde diagnóza není zcela zřetelná. Tato úroveň znalosti echokardiografie by měla patřit v intenzivní péči mezi samozřejmé schopnosti, stejně jako interpretace rentgenových snímků či EKG a měla by být součástí postgraduálního výcviku v rámci oboru intenzivní medicíny. Tam, kde národní výcvikový program nepožaduje echokardiografický trénink, lze alternativně pořádat specializované výcvikové kursy.

Úroveň specializace II je obecně v celosvětovém srovnání na úrovni tréninku pro kardiologickou specializaci. V České republice odpovídá úrovni požadavků k získání kardiologické atestace zhruba v dnešním rozsahu a funkční licence na jícnovou echokardiografii. Nad schopnosti úrovně I je specialista úrovně II schopen přijímat a řešit supervize z nižších úrovní. Rozpozná a správně diagnostikuje téměř veškerou kardiovaskulární patologii s minimem žádostí o supervizi. Je schopen běžných echokardiografických navigací nekomplexních invazivních výkonů (např. echokardiograficky navigovaná punkce perikardu). Učí echokardiografii méně zkušené kolegy do úrovně I. Vede částečně i echokardiografický výzkum.

Úroveň specializace III – expertní. Tento specialista provádí vysoce specializovanou echokardiografická vyšetření (TTE a TEE), přijímá a řeší supervize od méně zkušených kolegů úrovně I a II. Vede soustavný výzkum v echokardiografii, vyučuje echokardiografii na všech úrovních. Je informován a sleduje vývoj v oboru echokardiografie. Tato úroveň je rovna pozici konzultanta kardiologie – intenzivní péče se subspecializací a úzkou vazbou na echokardiografii v intenzivní péči.

Náplň echokardiografie v intenzivní péči

Těžiště echokardiografie spočívá v klinických potřebách intenzivní péče a zde vyzdvihujeme spíše některé problematické, kontroverzní či novější momenty. Kompletní podrobný popis technik je rozsáhlý a výrazně nad rámec možností tohoto sdělení.

Velikost a funkce levé komory

Lokální a regionální systolická funkce levé komory

Regionální kinetiku hodnotíme na JIP nejčastěji ve vztahu k ischemické chorobě srdeční (ICHS) a akutnímu koronárnímu syndromu (AKS) a vzhledem k celkové systolické

funkci. Regionální kinetiku hodnotíme vizuálně vždy v několika různých řezech a projekcích, všímáme si zejména endokardu a ztlusťování stěny, pro lepší zobrazitelnost je praktický echokardiografický kontrast. Jeho použití v intenzivní péči je často limitováno nedostatkem času. V praxi je echokardiografický kontrast v České republice pro svoji cenu zatím bohužel málo rozšířen v běžné klinické praxi. Vždy je třeba balancovat přínos získané informace oproti event. poškození časovou prodlevou, pro lepší zobrazení vždy zvažovat a cíleně používat i nestandardní projekce u TTE a indikovat TEE. Zkušenější echokardiografisté využijí regionální TDI, myokardiální „strain“ či „strainrate“. V intenzivní péči více než kde jinde je třeba dobře zhodnotit vlivy modifikující aktuální hemodynamický stav (náplň oběhu, hemodynamické parametry, katecholaminy aj.).

Několik parametrů celkové systolické funkce

Frakční zkrácení (fractional shortening – FS) hodnotí pouze bazální segmenty a je závislé na náplni. Ejekční frakce levé komory (EFLK) je závislá na náplni i afterloadu. Dnes se nejčastěji používají geometrické aproximace tvaru LK a) pomocí metody plocha-délka (area-length – A-L), či častěji b) pomocí Simpsonova pravidla (plocha je součtem 20 ploch obdélníků proložených dlouhou osou LK v systole a diastole). Na rozdíl od jiných geometrických aproximací zachytí i tvarové nepravidelnosti (aneurysma), standardně v systole a v diastole a ve dvou kolmých projekcích (v doporučených postupech ASE, EAE, A4C a A2C,^{9,14} podle některých novějších evaluací s MR variantně A4C a ALAX – apical long axis). Zkušený echokardiografista hodnotí EFLK odhadem syntézou z projekcí získaných 2DE. Zkušený echokardiografista se dopouští odhadem a ve standardní situaci (dobrá vyšetřitelnost, vyrovnaná hemodynamika aj.) obdobné chyby, jakou nám přináší nepřesnost zobrazení (endokardu atd.) + chyba metody výpočtu. Při porovnání s MR je EF o 1–3 % podhodnocována.¹⁵ V nejasných a nestandardních případech je vždy vhodné si svůj odhad ověřit, systematicky korigovat svůj odhad se zkušenějšími kolegy a s jinými referenčními metodami. V první řadě jde o MR, dále o scintigrafii, levostrannou ventrikulografii (LVG) – zde však pozor na omezený počet zobrazených segmentů, extrasystolií a objemové zatížení při injekci kontrastní látky a s tím související projevy funkční rezervy či naopak její nepřítomnosti, někdy lze využít i 4D echokardiografické vyšetření, zde je zatím překážkou stále neuspokojivá kvalita zobrazení, kterou zatím nedokážeme překonat ani kombinací vyššího harmonického zobrazení, echokardiografického kontrastu a speciálního softwaru k hodnocení. Je třeba klást velký důraz na přesnost zachycovaných echokardiografických projekcí a jejich výuku v rámci tréninku. Jde zejména o dobré zachycení srdečního hrotu, endokardu v celém rozsahu, pokud nelze některé segmenty hodnotit, tuto skutečnost do protokolu uvést. Samozřejmostí je současný záznam EKG, který nám pomáhá orientovat se ve fázích srdečního cyklu, není však jediným kritériem určení end-systoly a end-diastoly, jemuž se dříve dávala přednost.

Z novějších metod se využívá posouzení longitudinální funkce LK, TDI k určení systolické rychlosti mitrálního anulu (Sm).

Diastolická funkce levé komory

Posouzení diastolické funkce LK umožňuje neinvazivní odhad plicního tlaku levé komory. K posouzení diastolické funkce LK používáme dopplerovské techniky (zejména pulsní dopplerovský způsob – PW a TDI).^{16–19} Určujeme charakter transmitrálního toku (E, A, decelerační čas vlny E – DTE) z rychlosti a vzájemného poměru vln E a A, při systolické dysfunkci LK můžeme využít dobrou korelaci DTE s tlakem v zaklínění plicnice (PCWP). Decelerační čas vlny E < 120 ms odpovídá PCWP > 20 mm Hg.²⁰ Měříme průtok v plicních žilách (systolickou vlnu S, diastolickou D a reverzní vlnu síňové kontrakce Ar) a TDI maximálních rychlostí mitrálního anulu. Hodnotíme poměr E/Em. Přihlížíme i k velikosti levé síně (LS). Zde přináší komplexnější informaci pracnější objemový index levé síně (left atrium volume index – LAVI, indexace na tělesný povrch – BSA v m²). Ten je dobrým markerem diastolické funkce LK, zejména při vyloučení významné vady aortální a mitrální chlopně, má za sebou i prognostická data a dynamicky se mění při úspěšné léčbě i při zhoršení srdečního selhání. Proto se někdy hovoří o LAVI jako o tzv. neinvazivním natriuretickém peptidu typu B (BNP). Je třeba poznamenat, že klasický anteroposteriorní rozměr LS standardně měřený v M-mode (MM) v parasternální dlouhé ose (PLAX) má dobrou pozitivní predikci pro dilataci LS, ale velmi často může být falešně negativní, pokud srovnáváme s podrobnějším a více individualizovaným LAVI. Tzn. že normální rozměr LS v MM nevylučuje dilataci LS, naopak LS > 40 mm u žen a > 43 mm u mužů znamená velmi pravděpodobně dilatovanou LS.²¹

Pravá komora

Posouzení velikosti PK je vzhledem ke komplexnímu tvaru PK, která navíc disproporčně mění tvar v patologických stavech, zůstává pro echokardiografii i po mnoha desetiletích velmi obtížným úkolem. Tenkostěnná PK zvyklá na šestkrát nižší afterload než LK je velmi citlivá na změny tlaku i objemu a promptně reaguje dilatací, ale i změnou proporcí. Po dlouhá desetiletí používaný rozměr v parasternální dlouhé ose (PLAX) se dnes již opouští pro velmi špatnou výpovědní hodnotu a vysokou intra- i interindividuální variabilitu měření (dokonce není v nových doporučených postupech²² pro kvantifikaci srdečních oddílů vůbec uváděn).

Relativní dilatace PK k LK na základě porovnání obou dutin v A4C (dobře a rychle použitelná zejména při normální LK) používá dvě, respektive tři semikvantitativní kritéria (obrázek 1): a) Hrot srdeční v A4C – normálně je tvořen LK, pokud se o hrot dělí LK i PK, PK je již středně dilatována; pokud je hrot tvořen PK, je dilatována významně. b) Plocha PK k LK v A4C zobrazené tak, aby PK byla co největší (při zachování zobrazení A4C). Normálně je plocha PK < 2/3 plochy LK, pokud jsou plochy stejné, je již PK dilatována středně významně, a je-li plocha PK > LK,

PK je dilatována významně. c) Poměr středních průměrů („midcavity diameter“) PK a LK v A4C, pro které platí podobné zásady jako pro porovnání ploch. Absolutní hodnoty rozměrů PK pro měření a eventuální porovnání s jinými vyšetřeními používáme zejména při patologické velikosti LK. Měříme především tyto čtyři rozměry – střední průměr („midcavity diameter“ – není však t. č. jednoznačně definován), anulus trikuspidální chlopně, dlouhou osu PK a rozměr výtokového traktu PK (RVOT).^{22–24}

Sílu stěny PK – norma 4–5 mm – měříme v MM a 2DE v přibližném obrazu v kolmém řezu v MM 4i 2DE buď z parasterna, či ze subxifoidea,²⁵ jak se uvádí v doporučených postupech,^{22,23} zde je však třeba dát velký pozor na papilární svaly a šlašinky v PK, aby nedošlo k falešnému nadhodnocení. Hypertrofie ukazuje na chronické tlakové přetížení PK či na onemocnění myokardu PK (myokarditida, amyloidóza atd.), ztenčená stěna může být jizva po IM, jizevnatě aneurysma u arytmogenní kardiomyopatie pravé komory (ARVC).

Systolická funkce pravé komory

K hodnocení systolické funkce PK používáme již více než 25 let TAPSE (tricuspid anulus plane systolic excursion) – systolickou exkursi trikuspidálního anulu měřenou MM v A4C.^{24,26–29} Norma ≥ 20 mm, respektive 24 ± 4 mm,³⁰ lehká dysfunkce 15–20 mm, střední 15–10 a těžká systolická dysfunkce PK < 10 mm. Parametr má ověřená prognostická data pro některá onemocnění – stav po infarktu spodní stěny: TAPSE < 18 mm;³¹ srdeční selhání LK (ICHS i dilatační kardiomyopatie): TAPSE < 14 mm;²⁸ idiopatická plicní hypertenze: TAPSE < 18 mm.³² V intenzivní péči koreluje dobře s funkcí levé komory a i s náplní oběhu.

Ve 2DE v projekci A4C hodnotíme FAC (fraction area change – volně přeloženo frakční změna ploch či tzv. ejekční frakce PK), z plochy PK v end-diastole (right ventricle end diastolic area – RVEDA) a end-systole (RVESA) spočteme $FAC = (RVEDA - RVESA) / RVEDA$, metoda koreluje s radionuklidovou ventrikulografií a norma je až do 32 % (!), 32–25 % je lehká systolická dysfunkce PK, 25–18 % středně těžká a < 18 % těžká systolická dysfunkce PK (tabulka 1).²³ Systolické rychlosti baze volné stěny pravé komory – TDI Sm v A4C. Sm $< 11,5$ cm/s koreluje s EFPK < 45 % determinované radionuklidovou ventrikulografií³³ a stejná skupina

brněnských autorů prokázala i u ní nezávislou prognostickou hodnotu u symptomatických nemocných s dysfunkcí LK s EF < 40 %.³⁴ Obdobnou hodnotu Sm $> 10,5$ cm/s prokázali jiní autoři³⁵ jako prediktor normální funkce PK a zároveň normální systolický tlak v plicnici. Současně práce prokázala dobrou vzájemnou korelaci metod hodnocení systolické funkce TDI Sm a TAPSE, respektive frakční změny plochy PK (FAC), s korelačním koeficientem okolo $r = 0,90$, respektive 0,84.

Hemodynamické vyšetření

Odhad centrálního žilního tlaku

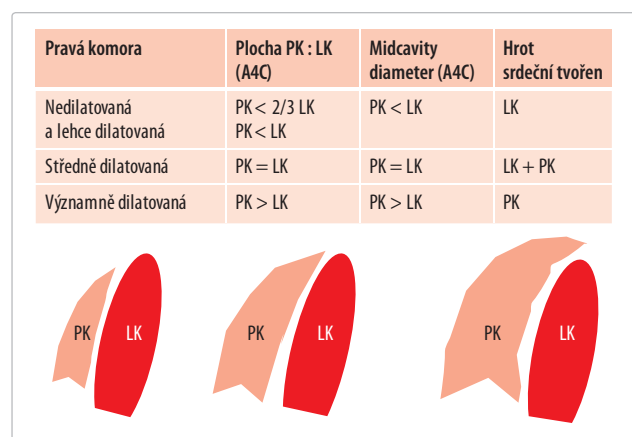
Nejpřesnější je odhad centrálního žilního tlaku (CVP) z šíře a zejména respirační kolapsibility dolní duté žíly měřené ze subxifoidea a eventuálně při špatné subxifoideální vyšetřitelnosti transhepatálně (obrázek 2). Dolní dutá žíla < 16 mm, resp. < 20 mm s respiračním kolapsem > 50 % svědčí pro normální CVP (< 5 , resp. 10 mm Hg). Dilatovaná dolní dutá žíla > 20 a zejména > 25 mm a omezený respirační kolaps ukazuje na zvýšený CVP, významně dilatovaná dolní dutá žíla (> 25 –30 mm) a nulová respirační kolapsibilita ukazuje na vysoký CVP > 15 , respektive > 20 mm Hg.

Pokud je dolní dutá žíla malého průměru (< 15 mm) a s dechem zcela kolabuje (100 %), jde o hypovolemii.³⁶ Měření není v literatuře jednotně standardizováno. Nejvhodnější místo se zdá pod vyústěním jaterní žíly (2 cm), srovnatelnou výpovědní hodnotu u zdravých dobrovolníků má i rozměr a zejména jeho respirační variace před renálními žilami.³⁷ Méně vhodné je zatím většinou doporučované měření u vstupu dolní duté žíly do PS,^{22,37} kde je bránice a při nádechu se může stahovat (jakýsi sfinkter), a dochází tak k falešnému podhodnocení CVP. Pozor na descendentní aortu, která prochází v těsné blízkosti a při horší vyšetřitelnosti může být snadno zaměněna za dolní dutou žílu. Odlišíme ji použitím barevného dopplerovského mapování (CFM) či PW se vzorkovacím objemem proloženým do středu dolní duté žíly, respektive descendentní aorty. Vždy je třeba najít vyústění dolní duté žíly do PS, abychom správně identifikovali cévní struktury a vyhnuli se omylu. Při významné trikuspidální regurgitaci dochází k systolickým pulsacím dolní duté žíly, které mohou být mylně považovány za respirační. Snadno je identifikuje frekvence shodná s tepovou a ve stejné fázi simultánně snímaného EKG záznamu. Limitovaný odhad CVP z dolní duté žíly je u nemocných na umělé plicní ventilaci, zejména při vyšším

Tabulka 1 Plocha PK a FAC

	Norma	Lehce	Středně	Těžce zvětšená/omezená
PK plocha v diastole (cm ²)	11–28	28–32	32–37	> 37
PK plocha v systole (cm ²)	7,5–16	16–19	19–22	> 22
Frakční* změna plochy PK (%)	32–60	32–25	25–18	< 18

* Korelace s EFPK dle MR, $r = 0,88$

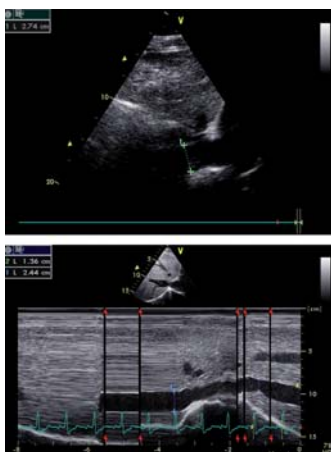


Obrázek 1 Kvalitativní (vizuální) posouzení velikosti PK

1. Konstanta: 10 mm Hg
2. JVP, H-J reflux 5-10-15 mm Hg
3. DDŽ diametr + respirační kolaps
4. Invazivní měření – JIP, KJ, ARO

DDŽ (mm)	Respirační kolaps (%)	CVP (mm Hg)
< 15	Kompletně (100 %)	Malý (< 5)
< 20	> 50 %	Norm. (< 10)
20–25	Částečně (< 50 %)	10–15
> 25 + dil. jat. žil	Není	15–20 (25)

Limitace: • Umělá plicní ventilace • Sportovci • Vrozené anomálie

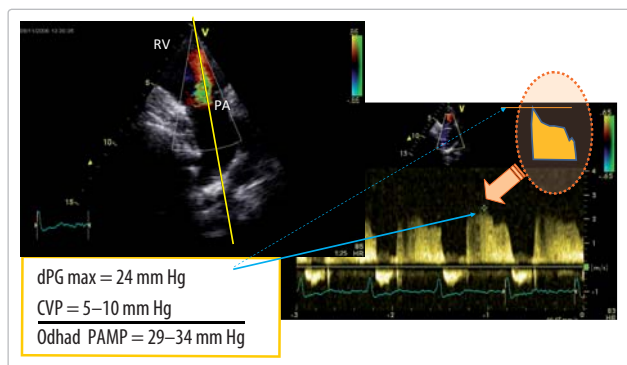


Obrázek 2 Neinvazivní odhad CVP (RAP) z dolní duté žíly

DDŽ – dolní dutá žíla, H-J – hepatojugulární, JVP – náplň krčních žil

pozitivním end-expiračním tlaku (PEEP); tito nemocní však mají většinou centrální žilní katetr, a tak můžeme CVP změřit invazivně a použít tuto hodnotu. Při těžší hypovolemii je dolní dutá žíla malého průměru a zcela kolabuje s respirací i při umělé plicní ventilaci. Jde pak většinou o těžkou hypovolemii (těžká dehydratace, krvácení aj.). Další problematickou skupinou jsou výkonnostní sportovci – mají dolní dutou žílu dilatovanou o > 25 mm, ale respiračně kolabuje nad 50 % a invazivně změřené CVP je normální.³⁸

Echokardiografický odhad systolického tlaku v plicnici Používáme maximální systolický gradient trikuspidální regurgitace (pressure gradient of tricuspid regurgitation – PGTR). Důležité je dodržet příznivý incidenční úhel do 10°, maximálně 15°, při vyšších hodnotách je úhlová chyba příliš velká (roste s křivkou grafu funkce cotg), a zkreslení vypočtené hodnoty tlakového gradientu neakceptovatelné. Při velkém incidenčním úhlu pak proto raději hodnotu neuvádíme, abychom nezavdali příčinu k chybné interpretaci celého nálezu. Jet regurgitace je prostorový, proto měříme ve všech dostupných projekcích, nejen apikálních, ale i v parasternálních na vtokový trakt PK a při parasternální projekci v krátké ose (PSAX) a i



Obrázek 3 Střední tlak v plicnici (PAMP). Plicnicová insuficience – diastola

Tabulka 2 Neinvazivní hemodynamika

- CVP z dolní duté žíly 5-10-15-20-25 mm Hg
- PASP = PGTR + odhadnutý CVP
- PAMP = $0,61 \times \text{PASP} + 2$ mm Hg
- PAMP = $\text{PG}_{\text{max Pureg}} + \text{CVP}$
- PCWP > 20 mm Hg: DTE < 120 ms (při dysfunkci LK)
- PCWP = normální: E/Em < 8
 - zvýšený: E/Em > 15
 - nelze odhadnout: E/Em 8–15

CVP – centrální žilní tlak, DTE – decelerační čas vlny E, PAMP – střední tlak v plicnici, PASP – střední tlak v plicnici, PCWP – tlak v zaklínění plicnice, PG_{max} – maximální tlakový gradient, PGTR – systolický gradient trikuspidální regurgitace

v subxifoidálních projekcích. Vybereme nejvyšší hodnotu a na konci vyšetření ještě jednou ověříme. Systolický gradient trikuspidální regurgitace je velmi dynamický a rychle se mění i při malé zátěži (stres, pohyb apod.), proto je nutné zaručit opravdu klidové podmínky pro jeho měření. Výpočet středního tlaku v plicnici (PASP) = PGTR + CVP (mm Hg) dobře koreluje s invazivními hodnotami.³⁹ Jak již bylo zmíněno výše, systolická rychlost trikuspidálního anulu v TDI Sm > 10,5 cm/s znamená i normální PASP.³⁵

Odhad středního tlaku v plicnici

Střední tlak v plicnici můžeme odhadnout z maximálního diastolického gradientu pulmonální regurgitace + CVP (obrázek 3) – korelace s invazivními hodnotami je však volnější, metodu používáme, zejména pokud nelze změřit PGTR. Přesnější je výpočet z PASP pomocí vzorce $0,61 \times \text{PASP} + 2$,⁴⁰ který vychází z empiricky ověřené vzájemné těsné korelace systolického a diastolického tlaku v plicnici při invazivním měření.⁴¹

Odhad plicního tlaku levé komory

Používáme parametry diastolické funkce.^{17–19} Restriktivní charakter transmitrálního toku je charakterizován poměrem E/A > 2, respektive 2,5. Odlišit normální a pseudonormální charakter plnění LK nám pomůže proudění v plicních žilách, pro pseudonormální platí S < D. Pomocí časných diastolických rychlostí mitrálního anulu stanovíme průměrné Em většinou průměrem rychlostí septálního a laterálního okraje. Podílem s rychlostí vlny E transmitrálního toku získáme poměr E/Em, který pokud je ≤ 8, svědčí pro nízký plicní tlak LK, a pokud je > 15, ukazuje na zvýšený tlak v LS. Hodnota 8–15 je tzv. šedá zóna, která nemá jasný diagnostický přínos.

Při dysfunkci LK existuje dobrá korelace deceleračního času vlny E (DTE < 120 ms) a tlaku v zaklínění > 20 mm Hg.²⁰ Korelace DTE s PCWP platí od DTE < 150 ms a je přibližně lineární. Shrnutí neinvazivních hemodynamických vyšetření podává *tabulka 2*.

Chlopenní nálezy

Jde o komplikovanou a rozsáhlou kapitolu echokardiografie, která vyžaduje mnoho zkušeností. V intenzivní péči

vyšetřujeme chlopenní aparáty, abychom měli komplexní informaci o stavu srdce a vlivu na hemodynamiku, v případě podezření na závažnější patologii je třeba odeslat nemocné k supervizi zejména na nižších úrovních zkušenosti (do úrovně specializace I, eventuálně II). Pravostranné regurgitace vyšetřujeme dopplerovsky (kontinuální dopplerovský způsob – CW) při neinvazivním hemodynamickém vyšetření a kalkulujeme odhady pravostranných tlaků tak, jak bylo popsáno výše.

Perikardiální výpotek

V intenzivní péči sledujeme zejména známky útlaku srdce a rozvoj tamponády. Spíše než množství rozhoduje rychlost vzniku. I malý perikardiální výpotek způsobí srdeční tamponádu (s možnými fatálními důsledky), pokud vznikne velmi rychle a perikardiální vak nemá čas se adaptovat. Diferenciálně diagnosticky je nejčastěji třeba odlišit jednak perikardiální a epikardiální tuk, jednak pleurální výpotek.

Tamponáda srdeční

Z echokardiografických známek jsou cenné zejména systolický kolaps volné stěny PS, diastolický kolaps PK, reciproční respirační změny v objemech a plnění LK a PK – transmitrální kolísání průtoků (na mitrálním ústí > 20 %, respektive > 25 %, na trikuspidálním ústí > 40 %) a známky zvýšeného CVP – dilatace dolní duté žíly s omezeným až žádným respiračním kolabováním.³⁶ Je třeba odlišit kolísání při změně polohy vzorkovacího objemu PW při respiraci, obtížné je hodnocení při arytmií (typicky FS či extrasystolie), kdy dochází k falešnému nadhodnocení respirační variability.

Echokardiograficky navigovaná punkce perikardu

Velmi cenná je pomoc echokardiografie při navigaci punkce perikardu. Zavedením 2DE se zásadně zvýšila úspěšnost a minimalizovala míra komplikací perikardiocentézy z cca 86% úspěšnosti, 4% mortality a 4% vážné morbidit na 99% úspěšnost s téměř nulovou úmrtností a 3–5 % komplikací.⁴² Postupujeme vždy individuálně, a to jak vzhledem k morfologii výpotku a dalších onemocnění pacienta, tak i vzhledem ke zkušenosti lékaře. Hodnotíme nejen nejbezpečnější lokalizaci, tedy místo nejbližší k hrudní stěně – často z hrotu, bez interpozice jaterní a plicní tkáně, největší lokalizace tekutiny, ale i charakter výpotku a známky organizace výpotku. Ty často komplikují, až znemožňují provedení punkce a nutí někdy lékaře i k chirurgickému řešení.

Akutní plicní embolie

Akutní cor pulmonale

Echokardiografický obraz akutního cor pulmonale zahrnuje zejména dilataci akutně tlakově přetížené PK. Objevuje se s tzv. D-shape neboli D-tvarem v řezu na krátkou osu LK. Pokud dojde v důsledku dilatace PK k dilataci trikuspidálního anulu a závažného aparátu trikuspidální chlopně, vzniká trikuspidální regurgitace, která pokud je významná, zatěžuje pravou komoru i objemově. Objemové přetížení vede k další dilataci PK a progresi trikuspidální regurgitace.

Plicní hypertenze u akutní plicní embolie

Bývá mírná, maximálně středně závažná. Těžší plicní hypertenze je známkou opakované sukcesivní plicní embolizace. Nemocní, kteří mají plicní hypertenzi před propuštěním z nemocnice, jsou rizikovější, co se týče rozvoje chronické tromboembolické plicní hypertenze, a je třeba je častěji kontrolovat včetně echokardiografie.

Tromby v srdečních dutinách

Jsou méně častým nálezem, ve studii ICOPER⁴³ měla jen necelá 4 % z 2 500 konsekutivních nemocných s akutní plicní embolií, z nichž necelá polovina měla k dispozici vstupní echokardiografické vyšetření, echokardiograficky detekovatelné tromby v pravostranných oddílech. Byli méně hemodynamicky stabilní a při terapii heparinem měli dvakrát vyšší mortalitu.

Patent foramen ovale

Patent foramen ovale (PFO) desetkrát zvyšuje mortalitu na plicní embolii, zejména pro paradoxní embolizaci.⁴³

Transezofageální echokardiografie

Transezofageální echokardiografie (TEE) včetně peroperační echokardiografie je nad rámec tohoto sdělení.

Formální stránka zápisu a záznamu

Demografická data včetně biometrie (výška, váha, BSA) a základních hemodynamických parametrů (rytmus, TF, TK – při TEE je třeba změřit tlak aktuální a nespokojit se s hodnotou před zavedením TEE sondy nebo po jejím vytáhnutí [kdo takto měří, ví proč], umělá plicní ventilace + PEEP, aktuální dávka inotropie, CVP, pokud je měřen invazivně).

Standardizované schéma vyšetření, tj. postup při vyšetření, jednotlivá měření, minimální doporučení pro nahrávané projekce a jejich standardizované a lokálně kompatibilní ukládání pro pozdějšího srovnání, post hoc analýzy, výzkum i z forenzních důvodů, má být v souladu s lokální centrální echokardiografickou laboratoří v duchu publikovaných doporučených postupů (EAE, ASE, BSE).⁴⁴

Na ně navazuje **systematická a lokálně kompatibilní konstrukce protokolu** – písemného záznamu z vyšetření. Většinou obsahuje čtyři části: 1) demografická data + biometrii, údaj o vyšetřitelnosti, abnormalitě, nestandardních podmínkách atd.; 2) popis vyšetření jednotlivých srdečních oddílů a chlopní a měření + eventuální výpočty; 3) závěr – slovní stručnou a jednoznačnou formulaci k jednotlivým oddílům v systematickém pořadí tak, aby byla pochopitelná i pro lékaře nezasevěného do echokardiografie; 4) stanovisko vyšetřujícího, jež vystihuje to podstatné – vhodné zejména u komplikovanějších nálezů + srovnání s předchozím(i) vyšetřením(i).

Závěr

Echokardiografie dnes tvoří nedílnou součást jednotky intenzivní péče zaměřené na kardiologické pacienty a stále méně postradatelnou součást obecně intenzivistických dia-

gnostických postupů a sledování vývoje stavu nemocných a odezvy na léčbu. V brzké budoucnosti padne na nás kardiologie nemalá část výuky a supervize echokardiografie intenzivistů. Je to kapitola nadmíru zajímavá a přínosná.

Literatura

1. Cheitlin MD, Alpert JS, Armstrong WF, et al. ACC/AHA Guidelines for the clinical application of echocardiography. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines (Committee on clinical application of echocardiography). Developed in collaboration with the American Society of Echocardiography. *Circulation* 1997;95:1686–1744.
2. Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S, et al. ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: Recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force for Certification in Perioperative Transesophageal Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1999;12:884–900.
3. Cahalan MK, Abel A, Goldman M, et al. American Society of Echocardiography and Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force guidelines for training in perioperative echocardiography. *Anesth Analg* 2002;94:1384–1388.
4. Shah MR, Hasselblad V, Stevenson LW, et al. Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients: meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA* 2005;294:1664–1670.
5. Harvey S, Harrison DA, Singer M, et al. PAC-Man study collaboration: Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet* 2005;366:472–477.
6. Costachescu T, Denault A, Guimond JG, et al. The hemodynamically unstable patient in the intensive care unit: hemodynamic vs. transesophageal echocardiographic monitoring. *Crit Care Med* 2002;30:1214–1223.
7. Marik PE, Baram M. Noninvasive hemodynamic monitoring in the intensive care unit. *Crit Care Clin* 2007;23:383–400.
8. Vignon P. Hemodynamic assessment of critically ill patients using echocardiography doppler. *Curr Opin Crit Care* 2005;11: 227–234.
9. Poelaert JI, Schüpfer G. Hemodynamic monitoring utilizing TEE: the relationships among pressure, flow, and function. *Chest* 2005;127:379–390.
10. Jensen MB, Sloth E, Larsen KM, Schmidt MB. Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol* 2004;21:700–707.
11. Kallmeyer IJ, Collard CD, Fox JA, et al. The safety of intraoperative transesophageal echocardiography: a case series of 7200 cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 2001;92:1126–1130.
12. Joseph MX, Disney PJ, Da Costa R, Hutchison SJ. Transthoracic echocardiography to identify or exclude cardiac cause of shock. *Chest* 2004;126: 1592–1597.
13. Price S, Via G, Sloth E, et al; World Interactive Network Focused On Critical Ultrasound ECHO-ICU Group. Echocardiography practice, training, and accreditation in the intensive care: document for the World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS). *Cardiovasc Ultrasound* 2008;6:49.
14. Popescu BA, Andrade MJ, Badano LP, et al.; European Association of Echocardiography, Derumeaux G, Kasprzak JD, Roelandt JR. Recommendations for training, competence, and quality improvement in echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:893–905.
15. Sievers B, Kirchberg S, Franken U, et al. Visual estimation versus quantitative assessment of left ventricular ejection fraction: a comparison by cardiovascular magnetic resonance imaging. *Am Heart J* 2005;150:737–742.
16. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009;10:165–193.
17. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10:165–193.
18. European Society of Cardiology; Heart Failure Association of the ESC (HFA); European Society of Intensive Care Medicine (ESICM), Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G, et al. ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008 of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail* 2008;10:933–989. Erratum in: *Eur J Heart Fail* 2009;11:110.
19. Paulus WJ, Tschope C, Sanderson JE, et al. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2007;28:2539–2550.
20. Ommen SR, Nishimura RA, Appleton CP, et al. Clinical utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of left ventricular filling pressures: A comparative simultaneous Doppler-catheterization study. *Circulation* 2000;102:1788–1794.
21. Anteroposterior dimension and the left atrial volume index in population of patients referred to a cardiocenter. *Eur Heart J* 2009;30(Supplement 1): 633(P3905).
22. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, et al. Recommendations for chamber quantification. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:79–108.
23. Foale R, Nihoyannopoulos P, McKenna W, et al. Echocardiographic measurement of the normal adult right ventricle. *Br Heart J* 1986;56:33–44.
24. Kjaergaard J, Petersen CL, Kjaer A, et al. Evaluation of right ventricular volume and function by 2D and 3D echocardiography compared to MRI. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:430–438.
25. Matsukubo H, Matsuura T, Endo N, et al. Echocardiographic measurement of right ventricular wall thickness. A new application of subxiphoid echocardiography. *Circulation* 1977;56:278–84.
26. Badano LP, Ghingina C, Easaw J, et al. Right ventricle in pulmonary arterial hypertension: haemodynamics, structural changes, imaging, and proposal of a study protocol aimed to assess remodelling and treatment effects. *Eur J Echocardiogr* 2010;11:27–37.
27. Kaul S, Tei C, Hopkins JM, Shah PM. Assessment of right ventricular function using two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 1984;107: 526–531.
28. Lamia B, Teboul JL, Monnet X, et al. Relationship between the tricuspid annular plane systolic excursion and right and left ventricular function in critically ill patients. *Intens Care Med* 2007;33:2143–2149.
29. Lindqvist P, Calcutteea A, Henein M. Echocardiography in the assessment of right heart function. *Eur J Echocardiogr* 2008;9:225–234.
30. Hsiao SH, Lin SK, Wang WC, et al. Severe tricuspid regurgitation shows significant impact in the relationship among peak systolic tricuspid annular velocity, tricuspid annular plane systolic excursion, and right ventricular ejection fraction. *J Am Soc Echocardiogr* 2006;19:902–910.
31. Izzo A, Galderisi M, de Divitiis O. The influence of left systolic ventricular function on right ventricular function after an acute myocardial infarct. *Cardiologia* 1998;43:173–80.
32. Forfia PR, Fisher MR, Mathai SC, et al. Tricuspid annular displacement predicts survival in pulmonary hypertension. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;174:1034–1041.
33. Meluzin J, Špinarová L, Dušek L, et al. Prognostic importance of the right ventricular function assessed by Doppler tissue imaging. *Eur J Echocardiogr* 2003;4:262–271.
34. Meluzin J, Špinarová L, Hude P, et al. Prognostic importance of various echocardiographic right ventricular functional parameters in patients with symptomatic heart failure. *J Am Soc Echocardiogr* 2005;18:435–444.
35. Saxena N, Rajagopalan N, Edelman K, López-Candales A. Tricuspid annular systolic velocity: a useful measurement in determining right ventricular systolic function regardless of pulmonary artery pressures. *Echocardiography* 2006;23:750–755.
36. Himelman RB, Kirchner B, Rockey DC, Schiller NB. Inferior vena cava plethora in blunted respiratory response. A sensitive echocardiographic sign of cardiac tamponade. *J Am Coll Cardiol* 1988;12:1470–1477.
37. Wallace DJ, Allison M, Stone MB. Inferior vena cava percentage collapse during respiration is affected by the sampling location: an ultrasound study in healthy volunteers. *Acad Emerg Med* 2010;17:96–99.
38. Goldhammer E, Mesnick N, Abinader EG, Sagiv M. Dilated inferior vena cava: a common echocardiographic finding in highly trained elite athletes. *J Am Soc Echocardiogr* 1999;12: 988–993.
39. Lindqvist P, Henein MY, Wikström G. Right ventricular myocardial velocities and timing estimate pulmonary artery systolic pressure. *Int J Cardiol* 2009;137:130–136.
40. Chemla D, Castelain V, Provencher S, et al. Evaluation of various empirical formulas for estimating mean pulmonary artery pressure by using systolic pulmonary artery pressure in adults. *Chest* 2009;135:760–768.
41. Chemla D, Hervé P. Estimation of mean pulmonary artery pressure: simpler than expected. *Chest* 2008;133:592–593.
42. Salem K, Mulji A, Lonn E. Echocardiographically guided pericardiocentesis – the gold standard for the management of pericardial effusion and cardiac tamponade. *Can J Cardiol* 1999;15:1251–1255.
43. Torbicki A, Galié N, Covezzoli A, et al. ICOPER Study Group. Right heart thrombi in pulmonary embolism: results from the International Cooperative Pulmonary Embolism Registry. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:2245–2251.
44. Evangelista A, Flachskampf F, Lancellotti P, et al.; European Association of Echocardiography. European Association of Echocardiography recommendations for standardization of performance, digital storage and reporting of echocardiographic studies. *Eur J Echocardiogr* 2008;9: 438–448.