

Invasive hemodynamic monitoring

Invazívne monitorovanie hemodynamiky

Mikuláš Huňavý

I. Kardiologická klinika UPJŠ LF a VÚSCH, a. s., Košice, Slovenská republika

Huňavý M. **Invasive hemodynamic monitoring.** Cardiology Lett. 2024;33(5):327–337

Abstract. Invasive hemodynamic monitoring is crucial in critically ill patients and its goal is to identify the cause of the present condition, clarification of its etiology and, based on the results obtained, tailoring an optimal therapy. The number of patients with cardiogenic shock has doubled in the last decade with heart failure etiology dominant, surpassing acute coronary syndromes. This review article focuses on two methods – right heart catheterization and transpulmonary thermodilution – and their utilization mainly in patients with acute heart failure. Right heart catheterization is being performed in the whole spectrum of heart failure patients, from those who are hemodynamically stable up to those critically ill in cardiogenic shock with the need of continuous hemodynamic monitoring, as well as in patients in whom advanced heart failure therapies such left ventricular assist device or heart transplantation is being considered. Transpulmonary thermodilution is mainly being used in patients with shock states and acute respiratory distress syndrome in the absence of right ventricular dysfunction. In the hands of skilled doctors they can provide valuable information and aid in guiding treatment, and based on the latest observational trials, might decrease mortality. Fig. 3, Tab. 1, Ref. 48, on-line full text (Free, PDF) www.cardiologyletters.sk

Keywords: right heart catheterization – heart failure – transpulmonary thermodilution

Huňavý M. **Invazívne monitorovanie hemodynamiky.** Cardiology Lett. 2024;33(5):327–337

Abstrakt. Invazívne monitorovanie hemodynamiky je kľúčové u kriticky chorých pacientov a jeho cieľom je identifikácia príčiny daného stavu, objasnenie etiológie a na základe získaných výsledkov nastavenie optimálnej liečby. Počet pacientov s kardiogénnym šokom sa v poslednom desaťročí zdvojnásobil a dominujúcou etiológiou je aktuálne srdcové zlyhávanie, čím prebehlo akútne koronárne syndrómy. Prehľadový článok je zameraný na dve metódy – pravostrannú katetrizáciu srdca a transpulmonálnu termofilúciu a ich využitie najmä u pacientov s akútnym srdcovým zlyhávaním. Pravostranná katetrizácia srdca sa realizuje u celého spektra pacientov so srdcovým zlyhávaním od hemodynamicky stabilných pacientov až po kriticky chorých v kardiogénnom šoku s potrebou kontinuálneho hemodynamického monitorovania, prípadne u pacientov u ktorých sa zvažuje pokročilá liečba srdcového zlyhávania v podobe implantácie ľavokomorového podporného systému alebo transplantácie srdca.

Transpulmonálna termodilúcia sa využíva najmä pri monitorovaní pacientov so šokovým stavom a syndrómom akútnej respiračnej tiesne pri absencii závažnej dysfunkcie pravej komory. Ich použitie skúseným lekármi môže poskytnúť cenné informácie a pomôcť pri vedení liečby a podľa posledných observačných štúdií aj znížiť mortalitu. Obr. 3, Tab. 1, Lit. 48, on-line full text (Free, PDF) www.cardiologyletters.sk

Kľúčové slová: pravostranná katetrizácia srdca – srdcové zlyhávanie – transpulmonálna termodilúcia

V akútnej fáze kritických chorôb, kedy dochádza k prudkej zmene hemodynamických parametrov a pacient následne vyžaduje vazopresorickú a inotropnú podporu, je nevyhnutné kontinuálne a často invazívne monitorovanie. Monitoring je efektívny len ak sa nameraná hodnota správne interpretuje a na základe toho sa podá efektívna liečba (1). Základné hemodynamické monitorovanie je postačujúce u pacientov, ktorých stav sa zlepší s iniciálnou liečbou, je však nedostatočné pri pokračujúcom a prehľbujúcom sa šoku, ktorý je prítomný u mnohých kriticky chorých pacientov a v kardiológii najmä u tých s akútnym srdcovým zlyhávaním (SZ). Pokročilé hemodynamické monitorovanie použitím pľúcnicového katétra (PAC) a transpulmonálnej termodilúcie (TPTD) je užitočné na uľahčenie správneho načasovania indikácie a odpojenia od mechanického podporného systému, na vedenie inotropnej liečby a môže pomôcť znížiť mortalitu. V tomto prehľadovom článku sa zameriavame na obidve spomínané metodiky a ich indikácie u kriticky chorých pacientov so zameraním sa na pacientov v kardiogénnom šoku.

Indikácie hemodynamického monitorovania pri srdcovom zlyhávaní

Ciele hemodynamického monitorovania sú rozdielne v závislosti od jednotlivých ochorení, ale zahŕňajú skorú identifikáciu kardiálnej insuficiencie, majú pomôcť v diagnostike jej etiológie a následnom nastavení liečby a majú pomôcť identifikovať, kedy po úvodných opatreniach nastala stabilizácia alebo úprava stavu (2). Rozlišujeme tri hlavné indikácie monitorovania. Preemptívne monitorovanie zahŕňa monitorovanie pacientov v riziku a môže pomôcť identifikovať problém predtým než nastane a umožňuje zaujať preventívne opatrenia. Zameriava sa najčastejšie na intermitentné meranie základných

fyziológických parametrov, ako sú krvný tlak a srdcová frekvencia. Diagnostické monitorovanie sa využíva už pri prítomnosti určitého hemodynamického problému za účelom jeho objasnenia a oddiferencovania niekoľkých možných diagnóz, ako je napríklad odlišenie typu šoku. Sem patrí aj invazívne monitorovanie krvného tlaku alebo monitorovanie centrálného venózneho tlaku (CVP). Tretou indikáciou je monitorovanie na vedenie liečby najmä u pacientov s potrebou podávania vazoaktívnych liečiv a výberom vhodného typu monitorovania je možné stanoviť, či je potrebná úprava preloadu, afterloadu alebo funkcie srdca inotropikami na zlepšenie tkanivovej perfúzie (1). Do tejto skupiny môžeme zaradiť napríklad transpulmonálnu termodilúciu alebo monitorovanie pomocou pľúcnicového katétra. Invazívne hemodynamické monitorovanie umožňuje: 1. charakterizáciu typu kardiálnej dysfunkcie a stupňa jeho závažnosti; 2. veľmi skorú detekciu pridruženej vazoplégie; 3. detekciu a monitoring orgánovej dysfunkcie a tkanivovej oxygenácie; 4. zahájenie a optimalizáciu inotropnej a vazopresorickej liečby, ako aj načasovanie zavedenia mechanického podporného systému (MPS) (3).

Expertné odporúčania zamerané na manažment a monitorovanie kardiogénneho šoku zdôrazňujú začatie základného monitorovania počas prvých hodín šoku, ktoré by malo byť doplnené pokročilým monitorovaním v prípade komplikovaného alebo refraktérneho šoku (4 – 7). Podľa posledných aktualizovaných odporúčaní American College of Cardiology (ACC) pre SZ z roku 2022 môže hemodynamické monitorovanie pomocou PAC byť užitočné u selektovaných pacientov so SZ a s pretrvávajúcimi alebo zhoršujúcimi sa symptómami, príznakmi a parametrami a u ktorých je nejasný hemodynamický status, v triede odporúčaní IIa, úroveň dôkazov C – EO (expert opinion). Čo sa týka jeho využitia v manažmente kardiogénneho šoku, tu sa trieda odporúčaní oslabila z Ic na IIb na základe nerandomizovaných

štúdií v porovnaní s odporúčaniami z roku 2013 (8, 9). Európske odporúčania indikujú použitie pravostrannej katetrizácie srdca (PKS) u pacientov s ťažkým SZ pred transplantáciou srdca alebo implantáciou MPS. Tiež sa môže zväžiť na odlíšenie konstriktívnej perikarditídy od reštrikčnej kardiomyopatie, pri vrodených srdcových chybách a stavoch s vysokým srdcovým výdajom a na potvrdenie diagnózy pľúcnej hypertenzie a jej reverzibility pred korekciou chlopňovej chyby alebo štrukturálneho defektu. U pacientov s akútne dekompenzovaným SZ sa PAC môže zväžiť pri refraktérnom šoku napriek podávanej farmakoterapii, osobitne u pacientov s hypotenziou a hypoperfúziou, biventrikulárnou dysfunkciou a/alebo ak sú echokardiografické známky diskordantné s klinickým obrazom (10).

Klasifikácia kardiogénneho šoku

Kardiogénny šok je charakterizovaný systémovou hypoperfúziou s dysfunkciou cieľových orgánov v dôsledku zníženého srdcového výdaja (11). Za posledné roky sa prevalencia kardiogénneho šoku takmer zdvojnásobila a dominujúcou etiológiou na jednotkách intenzívnej starostlivosti sa stalo srdcové zlyhávanie, čím v tomto smere prebehlo akútne koronárne syndrómy (12).

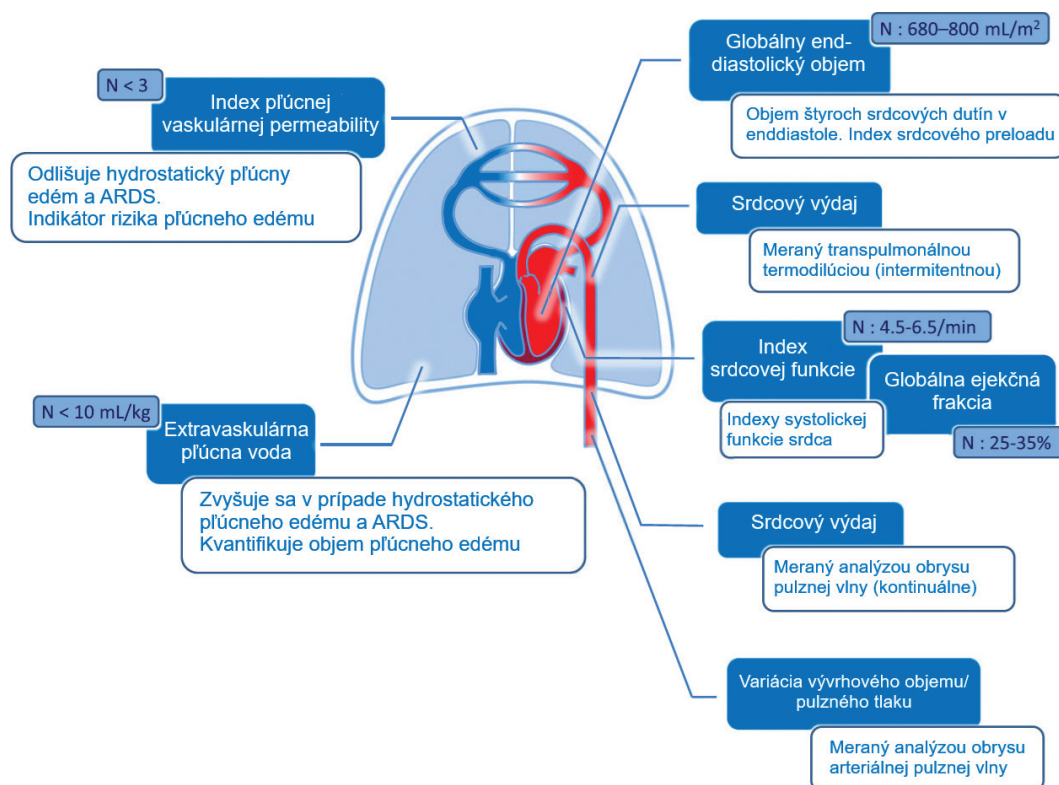
Na rizikovú stratifikáciu nemocničnej mortality môžeme využiť recentne aktualizovanú SCAI (Society of Cardiovascular Angiography and Intervention) klasifikáciu, ktorá sa rozdeľuje na päť štádií. Štádium A (At risk) – v riziku, kde sú napríklad pacienti s rozsiahlym infarktom myokardu, ale s normotenziou, bez známk alebo symptómov kardiogénneho šoku. Štádium B (Beginning) – začiatok, predstavuje prítomnosť hypotenzie/tachykardie bez hypoperfúzie, kedy pacient môže mať klinické známky hemodynamickej nestability, ale ešte bez hypoperfúzie (laktát < 2 mmol/l). Štádium C (Classic) predstavuje klasický šok, teda pacientov s hypoperfúziou (laktát ≥ 2 mmol/l), ktorí vyžadujú intervenciu či už v podobe vazoaktívnych liekov alebo MPS, ale sú bez deteriorácie. Pacienti sa môžu prezentovať hypotenziou, avšak tá nie je podmienkou. Štádium D – deteriorácia, kam patria pacienti s hypoperfúziou a deterioráciou definovanou ako zlyhanie iniciálnej podpornej liečby, stúpajúcimi hladinami laktátu a u ktorých je potreba eskalácie dávky a počtu vazopresorov alebo pridanie

MPS na udržanie perfúzie. Štádium E – extremis, je definované ako blížiaci sa alebo už prítomný hemodynamický kolaps, sú to často pacienti v bezvedomí, s laktátom ≥ 8 mmol/l a ťažkou acidózou s pH < 7,2, ťažkou hypotenziou napriek maximálnej hemodynamickej podpore s potrebou podávania opakovaných bolusov vazopresorov (13).

Aktualizovaná klasifikácia SCAI vznikla na základe niekoľkých prospektívnych a retrospektívnych štúdií publikovaných v rokoch 2019 – 2022, ktoré identifikovali rôzne modifikátory rizika na predikciu mortality (zastavenie srdca s dôkazom anoxickej encefalopatie, SIRS, vyšší vek, zvýšený tlak v pravej predsieni, kardiometabolický fenotyp a iné) (14 – 18), na základe ktorých možno v každej skupine SCAI klasifikácie identifikovať vysoko- alebo nízkorizikových pacientov. Na základe týchto štúdií odporúčajú autori inkorporovať tzv. trojosový model na zhodnotenie a prognostifikáciu pozostávajúci zo 1. závažnosti šoku, 2. rizikových modifikátorov a 3. fenotypu a etiológie šoku (13). V medzinárodnej analýze Zwecka et al. zahrňujúcej 1 959 pacientov s použitím strojového učenia (tzv. „machine learning“) identifikovali a validovali tri rozdielne fenotypy kardiogénneho šoku. Nekongestívny fenotyp, ktorého charakteristikou boli mladší pacienti bez závažných komorbidít, s normálnym hematokritom, nízkym laktátom, dobrými obličkovými funkciami a pacienti s vysokou pravdepodobnosťou prežitia. Druhý kardiorenálny fenotyp identifikoval starších pacientov s chronickou renálnou insuficienciou (CHRI), diabetes mellitus (DM), artériovou hypertenziou (AH) a anémiou, ktorý zahŕňal pacientov s prevažne ľavostranným SZ a zhoršujúcimi sa obličkovými funkciami. Tretí fenotyp tzv. kardiometabolický je charakterizovaný laktátovou acidózou, zápalom a eleváciou pečeňových enzýmov, ktorý reprezentoval zhoršujúcu sa venóznou kongesciou, poškodenie pečene a vysokú pravdepodobnosť multiorgánového poškodenia. Kardiometabolický šok predstavoval najväčšie riziko rozvoja štádia SCAI D a E, ako aj nemocničnej mortality spomedzi všetkých fenotypov nezávisle od príčiny šoku (18).

Transpulmonálna termodilúcia

Počas poslednej dekády sa objavilo niekoľko prístrojov založených na technike transpulmonálnej termodilúcie



Obrázok 1 Hemodynamické parametre dostupné pri meraní transpulmonálnou termodilúciou a kalibrovanou analýzou pulznej arteriálnej vlny s ich významom, využitím a normálnymi hodnotami (upravené podľa 20)

Figure 1 Hemodynamic parameters available by transpulmonary thermodilution and calibrated pulse contour analysis with their meaning, utility and normal values (modified according to 20)

ARDS – syndróm akútnej respiračnej tiesne (ARDS – acute respiratory distress syndrome)

(TPTD) ako invazívnej monitorovacej metodiky, ktorá sa odlišuje od pľúcnicového katétra (PAC) (19). Transpulmonálna termodilúcia je technika, ktorá poskytuje kompletne hemodynamické zhodnotenie srdcového výdaja a iných indexov. Umožňuje kontinuálne monitorovanie srdcového výdaja v reálnom čase a zhodnotenie enddiastolického objemu všetkých štyroch srdcových oddielov ako markera kardiálneho preloadu. Poskytuje tiež odhad kombinovanej systolickej funkcie oboch komôr, avšak nedokáže odhadnúť funkciu jednotlivých komôr samostatne (20). Meranie srdcového výdaja sa uskutočňuje dvoma spôsobmi. Prvým je termodilučná technika, ktorá meria srdcový výdaj využitím Steward-Hamiltonovej rovnice. Pri nej sa podáva chladený bolus fyziologického roztoku do venózneho katétra, ktorý sa zavádza najčastejšie do hornej dutej žily cestou vena jugularis interna dextra (možné použiť aj v. femoralis) a teplota krvi sa meria katétrom v artérii femoralis, brachialis, axillaris alebo radialis (na

našom pracovisku preferovaná a. brachialis). Druhou metodikou na meranie srdcového výdaja je analýza tzv. pulzového obrysu arteriálnej krivky (kalibrovaná analýza arteriálnej pulznej vlny) meranej pomocou arteriálneho katétra (systémy PiCCO a VolumeView), ktorý umožňuje kontinuálne meranie srdcového výdaja. Kalibrácia prebieha metodikou transpulmonálnej termodilúcie, čo robí túto techniku veľmi presnou. Pri analýze pulznej krivky je nevyhnutná pravidelná kalibrácia približne každú hodinu a to z dôvodu meniacej sa arteriálnej rezistencie, napríklad v prípade podávania vazopresorov (21, 22). Počas monitorovania metodikou transpulmonálnej termodilúcie a analýzou pulznej krivky môžeme hodnotiť celé spektrum parametrov (**obrázok 1**):

- EVLWI (Extravascular lung water index) – Index extravaskulárnej pľúcnej vody. Normálna hodnota: < 10 ml/kg. Indexovaný je na základe predikovanej hmotnosti a nie aktuálnej hmotnosti pacienta. Ide

o kvantitatívny index množstva tekutiny v pľúcnom parenchýme.

- PVPI (Pulmonary vascular permeability index) – Index pľúcnej vaskulárnej permeability. Normálna hodnota 1 – 3. Získaný z pomeru medzi extravaskulárnou pľúcnou vodou a objemom pľúcnej krvi (PBV – Pulmonary blood volume). Užitočný je najmä pri diferenciálnej diagnóze hydrostatického pľúcneho edému (2 – 2,5) a pľúcneho edému v dôsledku zvýšenej permeability (zápalový) (> 3).
- GEDVI (Global enddiastolic volume index) – Index globálneho enddiastolického objemu. Normálna hodnota: 680 – 800 ml/m². Je to spoľahlivý parameter na odhadnutie kardiálneho preloadu.
- TBVI (Intrathoracic blood volume index) – Index intratorakálneho objemu krvi. Normálna hodnota: 850 – 1000 ml/m². Získa sa z GEDVI + PBV a je parametrom kardiálneho preloadu.
- CFI (Cardiac function index) – Index kardiálnej funkcie. Normálna hodnota 4,5 – 6,5 min⁻¹. Je to pomer srdcového výdaja (CO) k GEDVI a udáva odhad srdcovej kontrakility (20, 23).

Komplikácie pri TPTD sú najčastejšie lokálny hematóm v mieste vpichu. Komplikácie, ako končatinová ischémia,

nehmatné pulzácie alebo trombóza femorálnej tepny (všetky < 1 %) sa riešia odstránením katétra, v závažnejších prípadoch embolektómiou (24). Nevýhodou samostatnej TPTD je, že meranie kontinuálneho srdcového výdaja nie je možné bez spojenia s analýzou pulzného obrysu arteriálnej krivky, ktorá vyžaduje pravidelnú rekalihráciu. Globálny enddiastolický objem nerozlišuje medzi ľavou a pravou komorou a globálna ejekčná frakcia nadhodnocuje funkciu ľavej komory v prípade dilatácie pravej komory (**tabuľka 1**) (20). Metodika tiež nie je využiteľná pri zavedenom veno-arteriálnom a ani veno-venóznom ECMO systéme (25).

Hlavnou indikáciou použitia sú pacienti so šokovými stavmi, preferovaná je najmä u pacientov v septickom šoku a ARDS bez dysfunkcie pravej komory. Aj konsenzus Európskej spoločnosti pre intenzívnu medicínu odporúča monitorovanie srdcového výdaja pri šokových stavoch u pacientov, ktorí nereagujú na iniciálnu liečbu či už tekutinami alebo malou dávkou vazopresorov (4). Extravaskulárna pľúcna voda je zvýšená v prípade hydrostatického pľúcneho edému a ARDS a kvantifikuje objem pľúcneho edému. Veľká metaanalýza u takmer 1 300 kriticky chorých pacientov preukázala asociáciu zvýšenej extravaskulárnej pľúcnej vody s mortalitou

Tabuľka 1 Výhody a nevýhody meraní realizovaných transpulmonálnou termodilúciou a kalibrovanou analýzou pulznej krivky (upravené podľa 20)

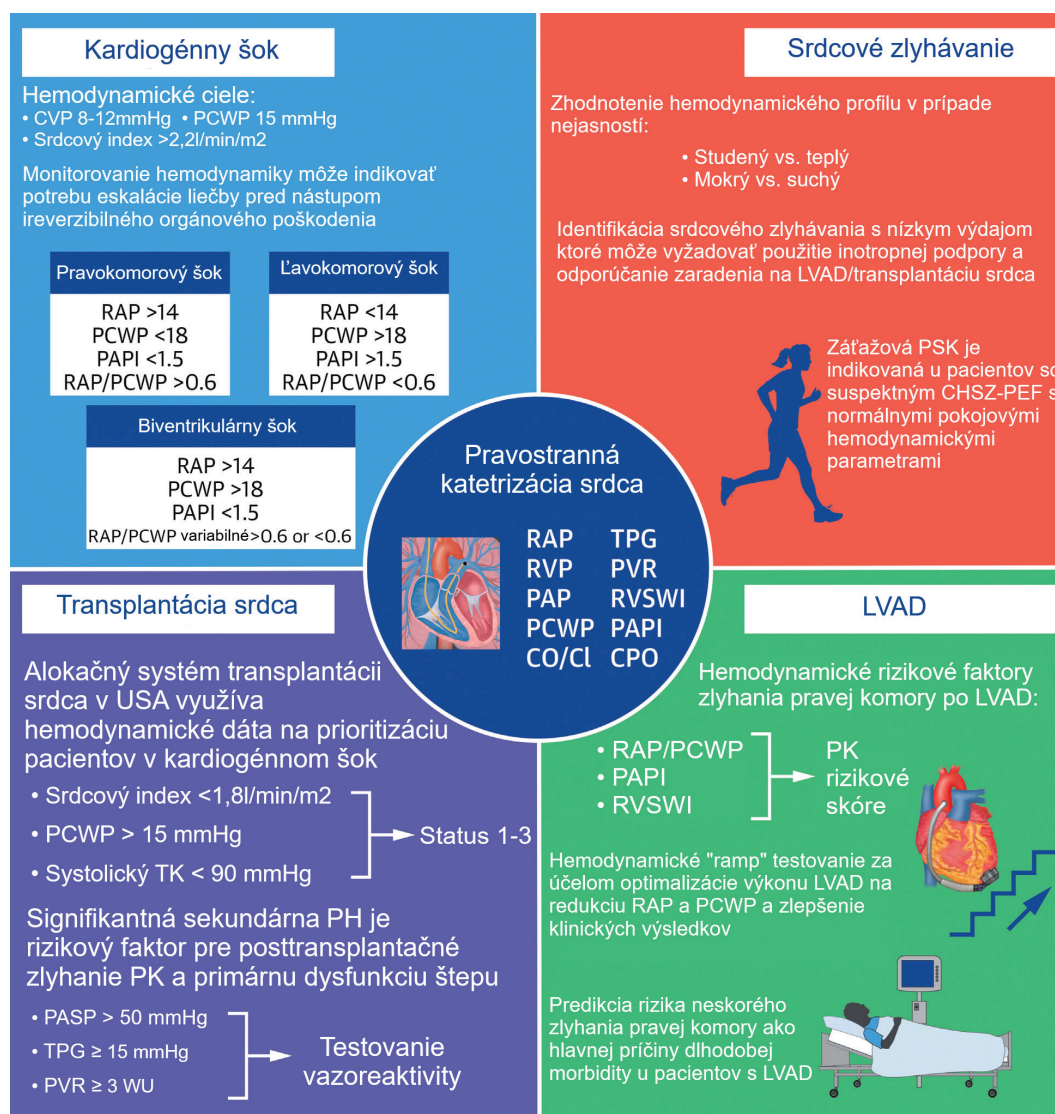
Table 1 Advantages and disadvantages of measurements by transpulmonary thermodilution and calibrated pulse contour analysis (modified according to 20)

Premenná	Hlavné výhody	Hlavné nevýhody
Meranie srdcového výdaja TPTD	Spoľahlivé meranie ako termodilúcia pri PAC	Neposkytuje kontinuálne meranie
Meranie srdcového výdaja analýzou pulznej krivky	Kontinuálne meranie Presné meranie Zhodnotenie krátkodobých a malých zmien	Vyžaduje pravidelnú rekalihráciu
Globálny end-diastolický objem	Lepšie odráža srdcový preload než tlakové parametre preloadu	Nerozlišuje medzi pravou a ľavou komorou Horšie priame zhodnotenie rizika pľúcneho edému než PCWP
Variácia vývrhového objemu	Kontinuálne automatizované zhodnotenie objemovej rezpozitivity	Nepoužiteľná v prípade spontánneho dýchania, arytmií a ARDS
Index srdcovej funkcie, globálna ejekčná frakcia	Použiteľné ako varovný parameter pri poklese systolickej funkcie	Nadhodnocuje systolickú funkciu LK v prípade dilatácie pravej komory Iba nepriamy marker srdcovej systolickej dysfunkcie Nezhodnocuje presne štruktúru srdca a jeho funkciu
Extravaskulárna pľúcna voda	Priamy odhad objemu pľúcneho edému	Nespoľahlivá v prípade pľúcnej embólie, resekcii pľúc a veľkých pleurálnych výpotkoch
Index pľúcnej vaskulárnej permeability	Priamy odhad pľúcnej permeability Odlíši hydrostatický od „permeabilného“ pľúcneho edému	Rovnaké ako pri extravaskulárnej pľúcnej vode

ARDS – syndróm akútnej respiračnej tiesne, LK – ľavá komora, PAC – pľúcnicový katéter, PCWP – tlak v zaklinení, TPTD – transpulmonálna termodilúcia

(OR 1,69; 95 % CI 1,22; 2,34; $p < 0,0015$) (26). Index pľúcnej vaskulárnej permeability dokázal tiež odlišiť pooperačný ARDS od kardiogénneho pľúcneho edému u rizikovej populácie pacientov podstupujúcich kardiochirurgickú alebo angiochirurgickú operáciu na aorte (27). Metaanalýza 10 štúdií hodnotiaca manažment septického šoku pomocou TPTD v porovnaní s meraním CVP preukázala nižšiu 28-dňovú mortalitu a kratšiu potrebu mechanickej ventilácie pri

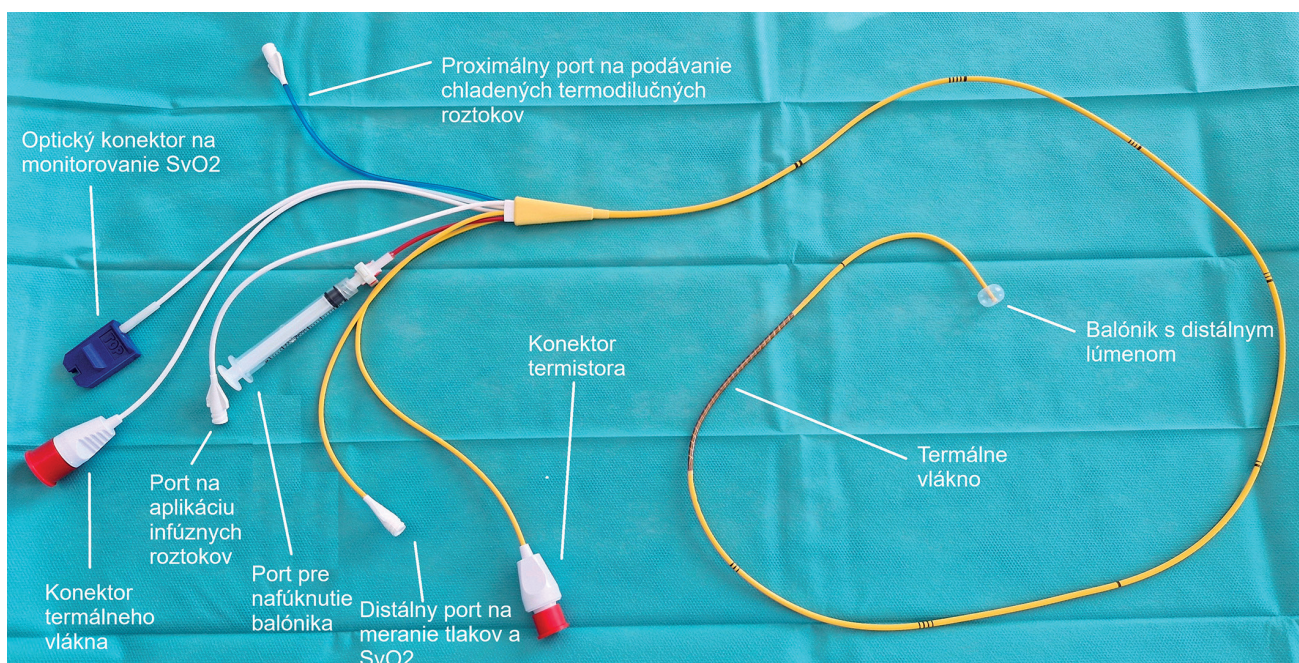
manažmente pacientov s použitím TPTD (28). Naďalej však v tejto oblasti absentujú väčšie či už observačné retrospektívne alebo veľké randomizované kontrolné štúdie, ktoré by preukázali mortalitný benefit využitia tejto metodiky u pacientov v kardiogénnom šoku. Aj z tohto dôvodu sa táto metodika využíva najmä u pacientov so septickým šokom a ARDS, respektíve šokom kombinovanej etiológie bez evidentnej dysfunkcie pravej komory.



Obrázok 2 Využitie pravostrannej katetrizácie srdca u pacientov so srdcovým zlyhávaním (upravené podľa 29)

Figure 2 Utilization of right heart catheterization in patients with heart failure (modified according to 29)

CHSZ-PEF – srdcové zlyhávanie so zachovalou ejekčnou frakciou ľavej komory, CI – srdcový index, CO – srdcový výdaj, CPO – srdcový výkon, CVP – centrálny venózný tlak, LVAD – ľavokomorový podporný systém, PAPI – pulzatilný index pľúcnice, PASP – systolický tlak v pľúcni, PCWP – tlak v zaklinení, PSK – pravostranná srdcová katetrizácia, PVR – pľúcna vaskulárna rezistencia, PH – pľúcna hypertenzia, PK – pravá komora, RAP – tlak v pravej predsieni, RVSWI – index vývrhovej práce pravej komory, TPG – transpulmonálny gradient



Obrázok 3 Swan-Ganz katéter so schopnosťou merať kontinuálne srdcový výdaj a saturáciu O_2 v artérii pulmonalis

Figure 3 Swan-Ganz catheter with ability to continuously measure cardiac output and O_2 saturation in pulmonary artery

Zdroj I. Kardiologická klinika UPJŠ LF a VÚSCH, a. s., Košice (Source I. Kardiologická klinika UPJŠ LF a VÚSCH, a. s., Košice)

Pravostranná katetrizácia srdca u pacientov so srdcovým zlyháváním

Pravostranná katetrizácia srdca má v kardiológii využitie u pacientov v kardiogénnom šoku na odlíšenie ľavokomorového, pravokomorového a biventrikulárneho šoku, pred transplantáciou srdca na identifikáciu vysokorizikových pacientov v triede INTERMACS 1-3 a ich prednostné zaradenie na čakaciu listinu, prípadne na zhodnotenie prítomnosti pľúcnej hypertenzie a jej reverzibility. Využiť sa môže u pacientov s akútnym srdcovým zlyháváním a nejasným hemodynamickým profilom na základe neinvazívnych vyšetrení, identifikovať pacientov so suspektným SZ so zachovalou ejekčnou frakciou ľavej komory (EFLK). V neposlednom rade vie identifikovať vhodných kandidátov na implantáciu mechanického podporného systému a detegovať hemodynamické rizikové faktory predikujúce zlyhanie pravej komory po implantácii ľavokomorového podporného systému (LVAD), ale tiež na optimalizáciu jeho jednotlivých parametrov po implantácii (obrázok 2) (29, 30).

Pľúcnicový katéter umožňuje merať priamo pľúcnicové a intrakardiálne tlaky a saturáciu kyslíka, umožňujúc

kontinuálne meranie saturácie krvi v artérii pulmonalis (SvO_2). Komplikácie môžu byť pneumotorax, hemotorax, hematóm v mieste vpichu pri punkcii artérie, vzduchová embólia, Swan-Ganzov katéter môže vyvolať arytmiu, poškodenie chlopní, perforáciu myokardu. Iným rizikom môže byť chybné zmeranie hemodynamických parametrov a dezinterpretácia výsledkov (31). O komplexnom využití tejto metodiky a technike vyšetrenia detailne pojednáva článok Dr. Kalvodovej (32). Uvedieme najmä niektoré špecifiká tejto metodiky a parametre hodnotené v klinických štúdiách, ktoré majú dopad na prognózu pacienta. Použitie USG navigácie počas kanylácie žily umožňuje realizovať PKS bez prerušenia antikoagulačnej liečby. V súčasnosti sa využívajú katetre, ktoré dokážu merať srdcový výdaj bez potreby podávania bolusov chladených roztokov, a to aktívnym zahrievaním termálneho vlákna v intervale 20 sekúnd spolu s aktívnym monitorovaním SvO_2 (obrázok 3).

Srdcový výdaj možno merať priamou Fickovou metódou, ide o zlatý štandard na určenie srdcového výdaja. Celotelová spotreba kyslíka (VO_2), ktorá sa má merať priamo, je často nedostupná a predpokladané hodnoty použité pri meraní nepriamou Fickovou metódou sa

často odlišujú od skutočných o viac ako 25 % s podobnou deviáciou pri CO (33). Práve z tohto dôvodu sa nepriama Fickova metóda nemá bežne používať vzhľadom na vyššie uvedené nepresnosti. Termodilúcia je preferovanou metódou, keď priame VO_2 meranie nie je dostupné. Štúdie ukázali uspokojivú presnosť aj pri závažnej trikuspidálnej regurgitácii, avšak CO hodnotený termodilúciou je nepresný pri prítomnosti intrakardiálneho skratu. Z tohto dôvodu sa má u pacientov, ktorí podstupujú PKS po prvý raz zobrať štandardne vzorka z hornej dutej žily a pľúcnice na detekciu okultného skratu. V prípade nemožnosti použitia priamej Fickovej metódy by sa hodnota srdcového výdaja pri prítomnosti skratu nemala v záverečnej správe uvádzať (29, 34). Jedným z kľúčových parametrov počas PKS je meranie tlaku v zaklivení a poloha pľúcnicového katétra vo Westovej zóne 3 počas jeho merania. V prípade pochybností o správnosti merania, respektíve pozície katétra je možné odobrať počas zaklivenia vzorku krvi, ktorej hodnota by mala odrážať okysličenie postkapilárnej pľúcnej cirkulácie. Rozdiel medzi nameranou hodnotou a systémovou saturáciou by mal byť menší ako 5 % (> 90 – 95 %) pri absencii hypoxie (35). V prípade nemožnosti opakovaného zaklivenia sa akceptuje použitie end-diastolického tlaku v ľavej komore (LVEDP) pri absencii mitrálnej stenózy, kompresii pľúcnej žily alebo fibrilácie predsieni, kedy môže nastať diskrepancia medzi týmito dvoma meranými parametrami (36).

Pulzatilný index pľúcnice (PAPI) hodnotí silu kontrakcie pravej komory a pulzatilný objem a s použitím tlaku v pravej predsieni hodnotí stav pravokomorovej kongescie. Hodnota $\text{PAPI} < 1,85$ je rizikovým faktorom zlyhania pravej komory po implantácii LVAD (37). V teréne kardiogénneho šoku hodnota $\text{PAPI} < 1,5$ môže pomôcť odlíšiť izolovaný ľavokomorový od biventrikulárneho alebo pravokomorového šoku (38). Ďalším z kalkulovaných parametrov je srdcový výkon (CPO), ktorý zahŕňa meranie tlaku a prietoku na odhad tzv. čerpacej schopnosti srdca s použitím vzorca $\text{MAP} \times \text{CO} / 451$ (MAP – stredný arteriálny tlak, CO – srdcový výdaj). Využíva sa ako prognostický faktor pri kardiogénnom šoku pri rozhodovaní o eskalácii liečby. CPO bol tiež asociovaný s prognózou v štúdii SHOCK kde hodnota $< 0,6\text{W}$ predikovala zvýšenú nemocničnú mortalitu v prítomnosti systémovej hypotenzie napriek zvyšujúcej sa vazopresorrickej a/alebo inotropnej podpore (39). V menšej štúdii

Baldettiho et al. využili inkorporovanie tlaku v pravej predsieni do horeuvedeného vzorca $\text{CPI}_{\text{RAP}} = (\text{MAP} - \text{RAP}) \times \text{CI} / 451$ (CPI – Cardiac power index). Tento parameter sa ukázal byť lepší v predikcii mortality ako pôvodný parameter srdcového výkonu aj vďaka možnej identifikácii pacientov s väčšou intravaskulárnou kongesciou (40). Experti odporúčajú, že srdcový výdaj, ako aj SvO_2 alebo ScvO_2 by sa mali merať kontinuálne v prípade šoku refraktérneho na empirickú liečbu (4).

Využitie pľúcnicového katétra u pacientov v kardiogénnom šoku

O využití pľúcnicového katétra sa za posledné roky viedli rozsiahle diskusie. Jednou zo štúdií, ktorá „pochovala“ jeho širšie používanie, bola ESCAPE, ktorá preukázala neutrálne výsledky u pacientov s akútne dekompenzovaným srdcovým zlyhávaním. V štúdii však neboli zahrnutí pacienti s kardiogénnym šokom, respektíve boli výrazne podreprezentovaní vo väčšine jednotlivých kohort a doposiaľ sa nerealizovala žiadna randomizovaná štúdia s pľúcnicovým katétrom u pacientov v kardiogénnom šoku (41). V tom istom roku Shah et al. publikovali metaanalýzu, ktorá nepreukázala benefit používania pľúcnicového katétra u kriticky chorých pacientov (42). To viedlo k zníženiu jeho používania v nasledujúcich rokoch aj napriek pozorovanému trendu redukcie mortality u pacientov v kardiogénnom šoku (43), čo potvrdilo aj niekoľko ďalších observačných a retrospektívnych štúdií. Garan et al. hodnotili v retrospektívnej analýze použitie pľúcnicového katétra u 1 414 pacientov s kardiogénnym šokom pred zavedením mechanického podporného systému. Pacienti boli rozdelení do skupín s kompletným hemodynamickým profilom (42 %) (t. j. dostupné hodnoty systolického tlaku v pľúcnici – PASP, diastolického tlaku v pľúcnici – PADP, PCWP, SvO_2), inkompletným hemodynamickým profilom (40 %), alebo tých, u ktorých pľúcnicový katéter nebol zavedený (18 %). Pacienti s kompletným profilom mali vyššie nemocničné prežítie ako pacienti bez zavedeného PAC (OR: 1,57 [95 % CI: 1,06 – 2,33]) (44). Kadosh et al. hodnotili v observačnej analýze vzťah použitia pľúcnicového katétra a mortality u 3 827 pacientov so šokom v 34 amerických centrách na koronárnych JIS. Išlo o dvojmesačný snapshot, 67 % pacientov malo kardiogénny šok a u 71 % pacientov

bol zavedený pľúcnicový katéter. Pacienti s PAC mali častejšie v minulosti diagnostikované SZ, EFLK < 20 %, chlopňové alebo vrodené srdcové chyby a pľúcnu hypertenziu. Napriek ich závažnejšiemu predchorobiu, mortalita u týchto pacientov bola nižšia (OR: 0,79 [95 % CI: 0,66 – 0,96]) (45). Aj nedávno publikovaná veľká metaanalýza Bertainu et al. preukázala u vyše 1 milióna pacientov s kardiogénnym šokom, z ktorých vyše tretina mala zavedený pľúcnicový katéter, benefit krátkodobého prežívania u pacientov s PAC v porovnaní so skupinou bez PAC aj po prispôbení na rizikové faktory (OR 0,71, 95 % CI 0,59 – 0,87, $p < 0,01$). Metaanalýza však berie do úvahy heterogenitu a observačný charakter jednotlivých zahrnutých štúdií (46).

Manažment kardiogénneho šoku vyžaduje prítomnosť špecialistov so zameraním na akútnu kardiológiu a intenzívnu medicínu, pokročilé srdcové zlyhávanie, intervenčnú kardiológiu, ECMO a kardiochirurgiu na optimálny manažment tých najťažších stavov. V niektorých nemocniciach sú pre takýchto pacientov zostavené tzv. „šokové tímy“ – Shock teams, ktoré zahŕňajú vyššie uvedených špecialistov. Papolos et al. hodnotili v multicentrickej observačnej štúdii z 24 centier u 1 242 pacientov s kardiogénnym šokom rozdiel v manažmente a prežívaní pacientov, pri ktorých bol prítomný tzv. „shock team“. Centrá so šokovým tímom používali viac pľúcnicový katéter než centrá bez týchto tímov (60 % vs. 49 %; OR 1,86; 95 % CI: 1,45 – 2,35; $p < 0,001$), a PAC boli zavedené takmer o polovicu času skôr (0,3 vs. 0,66 dní; $p = 0,019$). Prítomnosť týchto tímov bola spojená s nižšou mortalitou (23 % vs. 29 %; OR: 0,72; 95 % CI: 0,55 – 0,94; $p = 0,016$). Centrá s týmito tímami síce využívali menej MPS (35 % vs. 43 %; OR 0,72; 95 % CI: 0,59 – 0,95; $p = 0,016$), ale zato viac pokročilejších druhov MPS (Impella, Tandem Heart, VA-ECMO) (53 % vs. 43 % zo všetkých MPS; OR: 1,73; 95 % CI: 1,19 – 2,51; $p = 0,005$) než IABK (47). Podobne aj v tejto štúdii, ako aj v práci Garana et al. sa ukazuje, že častejšie používanie PAC vedie k zdokonaleniu skúseností v interpretácii, vypracovaní terapeutického algoritmu a eskalácii liečby na základe získaných dát (44, 47).

Ukazuje sa tiež, že časové okno zavedenia PAC má u pacientov v kardiogénnom šoku významnú úlohu. Podobne ako v štúdii Papolosa et al., sa časové okno ukázalo dôležité aj v štúdii Kanwara et al. v multicentrickej, retrospektívnej observačnej štúdii u 1 055 pacientov

s kardiogénnym šokom na podklade srdcového zlyhávania. Skoré zavedenie PAC (≤ 6 hodín od prijatia) sa spájalo s nižšou nemocničnou mortalitou v porovnaní s pacientmi s neskorým zavedením (≥ 48 hodín) alebo bez jeho zavedenia (17,3 % vs. 27,7 %; OR 0,54, 95 % CI 0,37 – 0,81) a jeho zavedenie bolo spojené s nižšou mortalitou (22,2 % vs. 29,8 %, OR 0,68; 95 % CI 0,50 – 0,94) (48). Viac informácií poskytne aj prebiehajúca štúdia PACCS (NCT05485376) u pacientov v kardiogénnom šoku na podklade akútnej dekompenzácie SZ, ktorá bude hodnotiť mortalitu u pacientov, u ktorých bude PAC zavedený včasne do šiestich hodín alebo po 48 hodinách.

Záver

Invazívne monitorovanie hemodynamiky má nezastupiteľné miesto u kriticky chorých pacientov a v kardiológii najmä u populácie s akútnym srdcovým zlyhávaním a kardiogénnym šokom. V ostatných rokoch sa prevalencia kardiogénneho šoku zdvojnásobila a je zrejmé, že tento trend bude v ďalších rokoch pokračovať aj z dôvodu nárastu počtu pacientov so srdcovým zlyhávaním, ktoré ako jeho etiológia už v súčasnosti dominuje. Transpulmonálna termofilácia má svoje miesto najmä pri šokových stavoch s ARDS bez dysfunkcie pravej komory, kým pľúcnicový katéter je využiteľný u celého spektra pacientov so srdcovým zlyhávaním od hemodynamicky stabilných až po najťažšie stavy s refraktérnym kardiogénnym šokom pri zlyhaní iniciálnej liečby. S postupným rozširovaním sa koronárnych jednotiek intenzívnej starostlivosti môžu pľúcnicové katétre pomôcť s vedením liečby a zlepšiť prežívanie tejto podskupiny pacientov. Ich použitie však bude aj naďalej závisieť od preferencie a skúseností jednotlivých pracovísk. Dôležitá je pri oboch metodikách najmä správna indikácia, včasnosť ich zavedenia pri rozpoznaní kritického stavu a správna interpretácia výsledkov na základe ktorých bude nasadená adekvátna liečba. Potrebné však budú randomizované kontrolné štúdie, ktoré identifikujú podskupinu pacientov, ktorá bude z ich zavedenia a správneho načasovania profitovať.

Autor nemá žiaden konflikt záujmov.

Článok vznikol s podporou edukačného grantu Slovenskej kardiologickej spoločnosti.

Literatúra

1. Vincent JL. Indications for haemodynamic monitoring. In: Masip J, editor. *Handbook of Acute CardioVascular Monitoring*. European Society of Cardiology; 2022:15–21.
2. Pinsky MR, Hravnak M. Overview of haemodynamic monitoring. In: Masip J, editor. *Handbook of Acute CardioVascular Monitoring*. European Society of Cardiology; 2022:7–14.
3. Hamzaoui O, Boissier F. Hemodynamic monitoring in cardiogenic shock. *J Intensive Med*. 2022;3:104–113.
4. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Bakker J, Hofer Ch, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 2014;40:1795–1815.
5. Levy B, Bastien O, Karim B, Cariou A, Chouihed T, Combes A, et al. Experts' recommendations for the management of adult patients with cardiogenic shock. *Ann Intensive Care* 2015;5:52.
6. Chioncel O, Parissis J, Mebazaa A, Thiele H, Desch S, Bauersachs J, et al. Epidemiology, pathophysiology and contemporary management of cardiogenic shock – A position statement from the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail* 2020;22:1315–1341.
7. Zeymer U, Bueno H, Granger CB, Hochman J, Huber K, Lettino M, et al. Acute Cardiovascular Care Association position statement for the diagnosis and treatment of patients with acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock: a document by the Acute Cardiovascular Care Association of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 2020;9:183–197.
8. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2022;79:e263–e421.
9. Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, Butler J, Casey DE, Drazner MH, et al. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2013;62:e147–239.
10. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Böhm M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 2021;42:3599–3726.
11. Van Diepen S, Katz JN, Albert NM, Henry TD, Jacobs AK, Kapur NK, et al. Contemporary management of cardiogenic shock: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2017;136:e232–e268.
12. Jentzer JC, Ahmed AM, Vallabhajosyula S, Burstein B, Tabi M, Barsness GW, et al. Shock in the cardiac intensive care unit: Changes in epidemiology and prognosis over time. *Am Heart J* 2021;232:94–104.
13. Naidu SS, Baran DA, Jentzer JC, Hollenberg SM, Van Diepen S, Basir MB, et al. SCAI SHOCK Stage Classification Expert Consensus Update: A Review and Incorporation of Validation Studies: This statement was endorsed by the American College of Cardiology (ACC), American College of Emergency Physicians (ACEP), American Heart Association (AHA), European Society of Cardiology (ESC), Association of Acute Cardiovascular Care (ACVC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT), Society of Critical Care Medicine (SCC), and Society of Thoracic Surgeons (STS) in December 2021. *J Am Coll Cardiol* 2022;79:993–946.
14. Jentzer JC, van Diepen S, Barsness GW, Henry TD, Menon V, Rihal CS, et al. Cardiogenic Shock Classification to Predict Mortality in the Cardiac Intensive Care Unit. *J Am Coll Cardiol* 2019;74:2117–2128.
15. Jentzer JC, Lawler PR, Van Diepen S, Henry TD, Menon V, Baran DA, et al. Systemic inflammatory response syndrome is associated with increased mortality across the spectrum of shock severity in cardiac intensive care patients. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2020;13:e006956.
16. Padkins M, Breen T, Anavekar N, Van Diepen S, Hendry TD, Baran DA, et al. Age and shock severity predict mortality in cardiac intensive care unit patients with and without heart failure. *ESC Heart Fail* 2020;7:3971–3982.
17. Thayer KL, Zweck E, Ayouty M, Garan AR, Hernandez-Montfort J, Mahr C, et al. Invasive hemodynamic assessment and classification of in-hospital mortality risk among patients with cardiogenic shock. *Circ Heart Fail* 2002;13:e007099.
18. Zweck E, Thayer KL, Helgestad OKL, Kanwar M, Ayouty M, Garan AR, et al. Phenotyping Cardiogenic Shock. *J Am Heart Assoc* 2021;10:e020085.
19. Combes A, Berneau JB, Luyt CE, Trouillet JL. Estimation of left ventricular systolic function by single transpulmonary thermodilution. *Intensive Care Med* 2004;30:1377–1383.
20. Monnet X, Teboul JL. Transpulmonary thermodilution: advantages and limits. *Crit Care* 2017;21:147.
21. Biais M, Nouette-Gaulain K, Cottenceau V, Vallet A, Cochard JF, Revel P, et al. Cardiac output measurement in patients undergoing liver transplantation: pulmonary artery catheter versus uncalibrated arterial pressure waveform analysis. *Anesth Analg* 2008;106:1480–1486.
22. Monnet X, Anguel N, Naudin B, Jabot J, Richard C, Teboul JL. Arterial pressure-based cardiac output in septic patients: different accuracy of pulse contour and uncalibrated pressure waveform devices. *Crit Care* 2010;14:R109.
23. Pérez PJ, Darias-Delbey B. Essential invasive and less-invasive calibrated techniques (PAC or two catheters). In: Masip J, editor. *Handbook of Acute CardioVascular Monitoring*. European Society of Cardiology; 2022:32–40.
24. Belda FJ, Aguilar G, Teboul JL, Pestaña D, Malbrain M, Luis JC, et al. Complications related to less-invasive haemodynamic monitoring. *Br J Anaesth* 2011;106:482–486.
25. Conrad AM, Loosen G, Boesing C, Thiel M, Luecke T, Rocco PRM, et al. Effects of changes in veno-venous extracorporeal membrane oxygenation blood flow on the measurement of intrathoracic blood volume and extravascular lung water index: a prospective interventional study. *J Clin Monit Comput* 2023;37:599–607.
26. Gavelli F, Shi R, Teboul JL, Azzolina D, Mercado P, Jozwiak M, et al. Extravascular lung water levels are associated with mortality: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 2022;26:202.
27. Kor DJ, Warner DO, Carter RE, Meade LA, Wilson GA, Li M, et al. Extravascular lung water and pulmonary vascular permeability

- index as markers predictive of postoperative acute respiratory distress syndrome: a prospective cohort investigation. *Crit Care Med* 2015;43:665-673.
28. Wang B, Cai L, Lin B, He Q, Ding X. Effect of pulse indicator continuous cardiac output monitoring on septic shock patients: a meta-analysis. *Comput Math Methods Med* 2022;2022:8604322.
 29. Rajagopalan N, Borlaug BA, Bailey AL, Eckman PM, Guglin M, Hall S et al. Practical Guidance for Hemodynamic Assessment by Right Heart Catheterization in Management of Heart Failure. *JACC Heart Fail* 2024;12:1141-1156.
 30. Rodenas-Alesina E, Brahmbhatt DH, Mak S, Ross HJ, Luk A, Rao V, et al. Value of Invasive Hemodynamic Assessments in Patients Supported by Continuous-Flow Left Ventricular Assist Devices. *JACC Heart Fail* 2024;12:16-27.
 31. Rudiger A, Stuby J. Intravascular access. In: Masip J, editor. *Handbook of Acute CardioVascular Monitoring*. European Society of Cardiology; 2022:23-31.
 32. Kalvodová Z. Right heart catheterization – methodology, indications, focus on patients in cardiogenic shock. *Cardiology Lett* 2022;31:236-248.
 33. Grafton G, Cascino TM, Perry D, Ashur C, Koelling TM. Resting oxygen consumption and heart failure: importance of measurement for determination of cardiac output with the use of the Fick principle. *J Card Fail*. 2020;26:664-672.
 34. Jansen JR. The thermodilution method for the clinical assessment of cardiac output. *Intensive care med* 1995;21:691-697.
 35. Viray MC, Bonno EL, Gabelle ND, Maron BA, Atkins J, Amoroso NS, et al. Role of pulmonary artery wedge pressure saturation during right heart catheterization: a prospective study. *Circ Heart Fail* 2020;13:e007981.
 36. Reddy YNV, ElSabbagh A, Nishimura RA. Comparing pulmonary arterial wedge pressure and left ventricular end diastolic pressure for assessment of left-sided filling pressures. *JAMA Cardiol* 2018;3:453-454.
 37. Morine KJ, Kiernan MS, Pham DT, Paruchuri V, Denofrio D, Kapur NK. Pulmonary artery pulsatility index is associated with right ventricular failure after left ventricular assist device surgery. *J Card Fail* 2016;22:110-116.
 38. Jain P, Thayer KL, Abraham J, Everett KD, Pahuja M, Whitehead EH, et al. Right ventricular dysfunction is common and identifies patients at risk of dying in cardiogenic shock. *J Card Fail* 2021;27:1061-1072.
 39. Fincke R, Hochman JS, Lowe AM, Menon V, Slater JN, Webb JG, et al. Cardiac power is the strongest hemodynamic correlate of mortality in cardiogenic shock: a report from the SHOCK trial registry. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:340-348.
 40. Baldetti L, Pagnesi M, Gallone G, Barone G, Fierro N, Calvo F, et al. Prognostic value of right atrial pressure-corrected cardiac power index in cardiogenic shock. *ESC Heart Fail* 2022;9:3920-3930.
 41. Binanay C, Califf RM, Hasselblad V, O'Connor CM, Shah MR, Sopko G, et al. Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness: the ESCAPE trial. *JAMA* 2005;294:1625-1633.
 42. Shah MR, Hasselblad V, Stevenson LW, Binanay C, O'Connor CM, Sopko G, et al. Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients: meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA* 2005;294:1664-1670.
 43. Hernandez GA, Lemor A, Blumer V, Rueda CA, Zalawadiya S, Stevenson LW, et al. Trends in Utilization and Outcomes of Pulmonary Artery Catheterization in Heart Failure With and Without Cardiogenic Shock. *J Card Fail* 2019;25:364-371.
 44. Garan AR, Kanwar M, Thayer KL, Whitehead E, Zweck E, Hernandez-Montfort J, et al. Complete Hemodynamic Profiling With Pulmonary Artery Catheters in Cardiogenic Shock Is Associated With Lower In-Hospital Mortality. *JACC Heart Fail* 2020;8:903-913.
 45. Kadosh BS, Berg DD, Bohula EA, Park JG, Baird-Zars VM, Alviar C, et al. Pulmonary Artery Catheter Use and Mortality in the Cardiac Intensive Care Unit. *JACC Heart Fail* 2023;11:903-914.
 46. Bertaina M, Galluzzo A, Rossello X, Sbarra P, Petitti E, Prever SB, et al. Prognostic implications of pulmonary artery catheter monitoring in patients with cardiogenic shock: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *J Crit Care* 2022;69:154024.
 47. Papolos AI, Kenigsberg BB, Berg DD, Alviar CL, Bohula E, Burke JA, et al. Management and Outcomes of Cardiogenic Shock in Cardiac ICUs With Versus Without Shock Teams. *J Am Coll Cardiol* 2021;28:1309-1317.
 48. Kanwar MK, Blumer V, Zhang Y, Sinha SS, Garan AR, Hernandez-Montfort J, et al. Pulmonary Artery Catheter Use and Risk of In-hospital Death in Heart Failure Cardiogenic Shock. *J Card Fail* 2023;29:1234-1244.