

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

Libor Janků

MONITORACE HEMODYNAMIKY V INTENZIVNÍ

PÉČI

Bakalářská práce

Vedoucí práce Mgr. Radana Pěružková

Olomouc 2021

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci dne

.....
Libor Janků

Děkuji Mgr. Radaně Pěružkové za odborné vedení, cenné připomínky a rady, které mi poskytla při zpracování bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině a blízkým přátelům za velkou podporu při psaní bakalářské práce a po dobu celého studia.

ANOTACE

Typ: Bakalářská práce

Téma práce: Monitorace pacienta v intenzivní péči

Název práce v ČJ: Monitorace hemodynamiky v intenzivní péči

Název práce v AJ: Hemodynamic monitoring in intensive care

Datum zadání: 30. listopadu 2020

Datum odevzdání: 7. května 2021

VŠ, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

Autor práce: Janků Libor

Vedoucí práce: Mgr. Radana Pěružková

Oponent práce:

Abstrakt práce v ČJ: Přehledová bakalářská práce se zabývá monitorací hemodynamiky pacienta v intenzivní péči. Práce předkládá přehled aktuálně publikovaných poznatků o monitoraci srdečního výdeje a jiných parametrech hemodynamiky v intenzivní péči. V přehledové práci je uveden popis jednotlivých možností monitorace hemodynamiky. Ze získaných informací vyplývá, že v posledních letech je trendem použití méně invazivních monitorů, které však nemusí být tak přesné, jako monitory invazivní.

Abstrakt práce v AJ: The overview bachelor thesis deals with the monitoring of the patient's hemodynamics in intensive care. The thesis presents an overview of currently published findings on the monitoring of cardiac output and other parameters of hemodynamics in intensive care. The review describes the individual options for monitoring hemodynamics. The information obtained shows that in recent years there has been a trend to use less invasive monitors, which may not be as accurate as invasive monitors.

Klíčová slova v ČJ: Intenzivní péče, monitorace, hemodynamika, srdeční výdej, arteriální tlak, centrální žilní tlak, plicní tlak.

Klíčová slova v AJ: Intensive care, monitoring, hemodynamic, cardiac output, arterial pressure, central venous pressure, pulmonary pressure.

Rozsah práce: 32 stran/0 příloh

Obsah

ÚVOD	6
1 Popis řešeršní činnosti	8
2 Přehled publikovaných poznatků o monitoraci hemodynamiky v intenzivní péči	9
2.1 Přehled publikovaných poznatků o monitoraci srdečního výdeje v intenzivní péči ..	11
2.2 Přehled publikovaných poznatků o monitoraci ostatních parametrů hemodynamiky v intenzivní péči	19
2.3 Význam a limitace dohledaných poznatků	26
ZÁVĚR	27
Referenční seznam	28
Seznam zkratk	32

ÚVOD

Pod pojmem monitorace si můžeme představit soubor činností, které slouží ke sledování aktuálního stavu pacienta. Monitorace není léčebná metoda, nýbrž zdroj informací pro volbu adekvátní léčby a péče. Může probíhat v určitých časových intervalech nebo kontinuálně. Přestože monitorace v intenzivní péči zahrnuje měření fyziologických funkcí, může sledovat také činnost zdravotnických přístrojů sloužících k podpoře těchto funkcí a co nejdříve detekce patologických jevů. Určité metody monitorace se liší mírou invazivity, která přináší jistá rizika. Do monitorace hemodynamiky se řadí měření srdečního výdeje, které zahrnuje mnoho možností měření. Využívá buď plicní katetr, známý také jako Swan- Ganzův nebo různé metody jak miniinvazivní tak i zcela neinvazivní. Při měření hemodynamiky se využívá také monitorace tlaků a to arteriálního, centrálního žilního a tlaku v plicnici, který se měří také přes Swan- Ganzův katetr. Arteriální tlak se měří přes katetr nebo za užití různých neinvazivních metod. K měření centrálního žilního tlaku se užívá vícepramenný katetr zavedený do centrální žíly. (Bartůněk, 2016, s. 81 - 85)

Požadavek na nepřetržitou monitoraci představuje jednu z nejčastějších indikací při přijetí na jednotku intenzivní péče. Známe více způsobů monitorace, například „bedside monitoring“, který zahrnuje monitor u postele pacienta, dále se pak používá centrální monitoring, kde jsou všechny monitorované parametry zobrazeny na jeden monitor. Poslední variantou je kombinace těchto dvou způsobů. Mezi nežádoucí aspekty monitorace patří nepřesné měření, chybování při sledování naměřených dat, chyba snímače signálu nebo přítomnost artefaktů při měření. Význam monitorace stoupá s čím dál rozšířenějšími způsoby monitorace. V intenzivní péči se může často objevit fenomén zvaný „data overloading“, to znamená, že je přítomno až moc dat a zdravotnický personál se v nich může ztratit. Velké množství dat sebou přináší riziko zhoršené orientace při posuzování stavu nemocného, proto se zavádí koncept individuálního monitorování, které představuje monitoraci těch parametrů, které mají vliv pro diagnostiku a léčebný postup v dané klinické situaci. (Kapounová, 2020, s. 37)

Cílem bakalářské práce je sumarizovat aktuální dohledané publikované poznatky o monitoraci hemodynamiky v intenzivní péči.

Pro vypracování bakalářské práce byly stanoveny dva dílčí cíle:

Cíl 1:

Sumarizovat aktuální dohledané publikované poznatky o monitoraci srdečního výdeje.

Cíl 2:

Sumarizovat aktuální dohledané publikované poznatky o monitoraci ostatních parametrů hemodynamiky.

Seznam vstupní literatury

BARTŮNĚK, Petr, Dana JURÁSKOVÁ, Jana HECZKOVÁ a Daniel NALOS, ed. *Vybrané kapitoly z intenzivní péče*. Praha: Grada Publishing, 2016. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-4343-1.

KAPOUNOVÁ, Gabriela. *Ošetřovatelství v intenzivní péči*. 2., aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2020. Sestra (Grada). ISBN 978-80-271-0130-6.

1 Popis řešeršní činnosti

Pro řešeršní činnost byl použit standardní postup vyhledávání s použitím vhodných klíčových slov a s pomocí booleovských operátorů. Pro první fázi řešeršní činnosti bylo zvoleno období 2015-2020. V druhé fázi řešeršní činnosti bylo rozmezí rozšířeno na období 2011- 2010 z důvodu malého množství kvalitních zdrojů na dané téma. Sumarizační údaje o provedené řešeršní činnosti jsou uvedeny dále.

ALGORITMUS REŠERŠNÍ ČINNOSTI



VYHLEDÁVACÍ KRITÉRIA

KLÍČOVÁ SLOVA V ČJ: Intenzivní péče, monitorace, hemodynamika, srdeční výdej, arteriální tlak, centrální žilní tlak, plicní tlak

KLÍČOVÁ SLOVA V AJ: Intensive care, monitoring, hemodynamic, cardiac output, arterial pressure, central venous pressure, pulmonary pressure


JAZYKY: čeština, angličtina

OBDOBÍ: 2011-2021

DALŠÍ KRITÉRIA: Plné texty, články, studie, recenzovaná periodika



DATABÁZE: Ebsco, Ovid, PubMed, Google Scholar



NALEZENO: 183 článků



VYŘAZUJÍCÍ KRITÉRIA:

Články, které se netýkají tématu, kvalifikační práce, duplicitní studie

**SUMARIZACE VYUŽITÝCH DATABAZÍ A DOHLEDANÝCH DOKUMENTŮ**

- - **EBSCO** – 9
- - **Ovid** – 5
- - **Pub Med** – 7
- - **Google Scholar** – 3



Air Medical Journal – 1 článek
Anaesthesia – 2 články
Anaesthesiology – 2 články
Anesteziologie a Intenzivní Medicina – 1 článek
Anesthesiology Research – 1 článek
Annals of Cardiac Anaesthesia – 1 článek
Annals of Intensive Care - 1 článek
Australian Critical Care – 1 článek
Clinical research in cardiology: official journal of the German Cardiac Society – 1 článek
Critical Care – 1 článek
Critical Care Research – 1 článek
Congenital heart disease – 1 článek
Intensive care medicine – 1 článek
International Journal of Critical Illness - 1 článek
Italian Journal of Pediatrics – 1 článek
Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia – 1 článek
Journal of cardiothoracic surgery – 1 článek
Journal of Clinical Monitoring and Computing: Including a Specialty Section on Surgical Neuromonitoring – 1 článek
Journal of Critical Care – 1 článek
PLoS ONE – 1 článek
Signa Vitae – 1 článek
Trials - 1 článek



Pro tvorbu teoretických východisek bylo použito 24 dohledaných článků.

2 Přehled publikovaných poznatků o monitoraci hemodynamiky v intenzivní péči

Hemodynamické monitorování bylo považováno za zásadní monitorování u pacientů na jednotkách intenzivní péče (JIP), zvláště pak v kardiochirurgické intenzivní péči. V posledních letech došlo k celkovému trendu překonat omezení konvenčního sledování hemodynamiky zavedením pokročilejších monitorů hemodynamiky, ale zároveň méně invazivního k plicnicovému arteriálnímu katétru (PAC) (Goranovic et al., 2017, s. 61). Hemodynamická léčba kriticky nemocných pacientů je stále určitou výzvou na JIP. Dostupné parametry monitorování pro vedení hemodynamického managementu zahrnují měření tlaků, a to arteriálního tlaku, tlaku v plicních tepnách a centrálního žilního tlaku. Dalším měřeným parametrem je průtok, konkrétně měření srdečního výdeje. Údaje o plicím tlaku srdce však mají jistá omezení a nemusí přesně představovat preload srdce a kontraktilitu (Cioccarri et al., 2018, s. 2). Cílem hemodynamického monitorování je předvídat hrozby a komplikace dříve, než nastanou, měřit účinnost intervencí a vyhnout se postupu do dekompenzovaného šokového stavu, kdy tělo není schopno dodávat dostatečné množství kyslíku, které potřebuje na základě svých metabolických požadavků. Ačkoli na JIP existuje řada možností hemodynamického monitorování, existuje nesoulad mezi hodnocením založeným na fyzikálním vyšetření a standardních hemodynamických parametrech a hodnotami založenými na měření srdečního výdeje (Tsang, 2013, s. 569). V současné době je zkoumána řada neinvazivních a miniinvazivních technik založených na různých fyzikálních principech. Cílem těchto technik je nejen vyhnout se riziku invazivního zásahu, ale také co nejvíce odpovídat jimi stanovenému zlatému standardu. Většina z těchto technik je založena na měření pomocí velkých žil. Díky tomu jsou závislé na zdravotnickém personálu, který se o katetr stará (Arora et al., 2014, s. 168). Kvalitní hemodynamické hodnocení pomocí miniinvazivních a neinvazivních metod monitorace umožňuje opakované a kontinuální monitorování srdečních funkcí a odpovědi na léčbu. Monitorování hemodynamiky by mohlo urychlit čas do vyřešení hemodynamické nestability u pacientů přijatých na JIP s nestabilní hemodynamikou. Klinické hodnocení hemodynamického stavu ukazuje, že nejčastější příčinou oběhového šoku je hypovolemie nedostatečný srdeční výdej a zhoršená systolická funkce levé komory srdeční (Merz et al., 2019, s. 1093 - 1094).

2.1 Přehled publikovaných poznatků o monitoraci srdečního výdeje v intenzivní péči

Měření srdečního výdeje (CO) je již dlouho považováno za zásadní pro hodnocení a vedení terapeutických rozhodnutí u pacientů v kritickém stavu tím, že poskytuje nepřímou informaci o systémovém dodávání kyslíku a globálním prokrvení tkání. Perioperačně se monitorování CO stalo prakticky rutinní, a to u některých vysoce rizikových pacientů a při velkých operacích, kde se očekávají velké posuny tekutin (Lee et al., 2011, s. 2). Přesné hodnoty CO mají v moderním zdravotnictví zásadní význam, zejména u vysoce rizikových chirurgických a kriticky nemocných pacientů na JIP. Monitorování CO spolu s perioperačními protokoly k vedení intravenózní tekutinové terapie a inotropní podpory prokázalo zlepšení pooperačních výsledků u vysoce rizikových chirurgických pacientů (Kobe et al., 2019, s. 6). I když je PAC stále považován za nejpřesnější metodu a zlatý standard pro měření CO, jeho invazivní a obtížnější použití na operačním sále nebo na odděleních JIP, spolu s potenciálními riziky, vedlo k vývoji méně invazivních metod, jako je echokardiografické měření, analýza tepové křivky a jiných (Chobola et al., 2017, s. 339 - 340). Kontinuální sledování CO umožňuje zaznamenávat změny srdečních funkcí a hodnotit odpovědi na terapii, jako je podání léku nebo infuzní terapie. I když již existuje několik technik pro hodnocení hemodynamické funkce, objevují se neinvazivní nebo minimálně invazivní metody. PAC je považován za zlatou standardní metodu pro sledování srdečního výdeje, ale je spojen s riziky centrální žilní katetrizace (např. dysrytmie) a umístění katetru (např. žilní trombóza, plicní embolie a infarkt, ruptura plicní tepny a sepse) (Ehlers et al., 2020, s. 1 - 2). Ideální technika pro měření CO je minimálně invazivní nebo neinvazivní, je kontinuální, nevyžaduje kalibraci a je přesná, reprodukovatelná a spolehlivá během různých fyziologických stavů. Bylo vyvinuto velké množství nových technologií pro měření CO, které jsou nyní k dispozici pro klinické použití (Lee et al., 2011, s. 4). V posledních desetiletích došlo k vývoji alternativních zařízení k PAC, o nichž se předpokládá, že poskytují podobné hemodynamické informace minimálně invazivním způsobem. Minimálně invazivní technologie mohou kromě analýzy variace arteriálního průběhu vlny z arteriálních katetrů využívat principy transpulmonální termodiluce nebo ředění indikátorového barviva. Tyto monitory měří srdeční funkci pomocí odhadů srdečního výdeje. Mohou také vyhodnotit stav intravaskulárního objemu a pravděpodobnost reakce na tekutinovou léčbu. Mezi příklady patří monitor pulzního obrysu srdečního výdeje (PiCCO) a monitor srdečního výdeje s ředěním lithia (LiDCO) (Rozenal et al., 2020, s. 3488).

Na pediatrických odděleních JIP, se k měření CO používá echokardiografie, katetrizace plicní tepny a transpulmonální termodiluční metody. Měření CO termodiluční metodou, která je invazivnější, se ve spojení s katetrem plicní tepny často používá u dospělých pacientů a jeho použití v dětské věkové skupině je omezené. Poskytuje však kontinuální měření CO, preloadu, kontraktility myokardu, afterloadu a permeability plic. Přístroj PiCCO je méně invazivní kontinuální monitor CO a hemodynamiky, který nevyžaduje katetrizaci plicní tepny a potřebuje pouze centrální venózní katetr a arteriální katetr ve velké tepně (Aslan et al., 2020, s. 2 - 3). PiCCO byl vyvinut a uveden na trh v roce 1997 společností Pulsion Medical Systems z Německa jako jednoduchá a snadnější alternativa k PAC. PiCCO používá techniku jediného tepelného indikátoru a analýzu pulzních kontur k výpočtu hemodynamických parametrů. Kromě prokázání velmi dobré shody se zlatým standardem v podobě PAC v některých studiích existují důkazy, že systém PiCCO zlepšil výsledky u pacientů se závažným traumatem hrudníku a syndromem akutní respirační tísně (Goranović et al., 2017, s. 61 - 62). Při použití PiCCO se vstříkne studený fyziologický roztok do horní duté žíly skrze centrální žilní katetr (CŽK). Arteriální kanyla následně změří změnu teploty v krvi a počítačová software poté vykreslí křivku termodiluce a změny teploty v čase. Tato kanyla má integrovaný termistor a musí být umístěna do jedné z větších tepen (femorální, axilární nebo brachiální). Při umístění arteriálního katetru do arteria femoralis je nutno vyhnout se kanylaci femorální žíly, protože by to mohlo vést k nadhodnocení nitrohrudního objemu krve (Kobe et al., 2019, s. 7 - 8). V posledních desetiletích se hlavně u pediatrických pacientů techniky monitorování CO změnilo z invazivních na méně invazivní a neinvazivní katetrizaci plicních tepen, transpulmonální termodiluci a transtorakální dopplerovskou echokardiografií. PiCCO je méně invazivní monitor nepřetržitého CO a hemodynamiky, který pracuje s technologií transpulmonální termodiluce a nevyžaduje katetrizaci plicní tepny. Monitor PiCCO je však invazivní a drahá technologie, která omezuje jeho užitečnost a dostupnost na všech oddělení JIP. Echokardiografie se stává standardem péče na mnoha JIP odděleních. Tato neinvazivní technika umožňuje měřit CO jako vodítko pro řízení pacienta a zajištění udržení hemodynamické stability u kriticky nemocného pacienta (Aslan et al., 2020, s. 2 - 3). Systém PiCCO je jedinečný svou schopností poskytovat objemová hodnocení preloadu a afterloadu. Vedení PiCCO může být spojeno s kratším trváním respirační podpory a rychlejší obnovou poměru parciálního tlaku kyslíku v alveolárním vzduchu k inspirační koncentraci kyslíku u pacientů se syndromem akutní dechové tísně (Rozenal et al., 2020, s. 3488).

Ehlers et al. (2020, s. 3 - 6) ve své studii, která byla prováděna v roce 2016 ve Fakultní nemocnici v Curychu, srovnával invazivní monitoraci CO přístrojem PiCCO a neinvazivní

monitoraci CO přístrojem Vismo. Tato studie u 38 pacientů ukázala, že ve smíšené populaci kriticky nemocných pacientů má odhadovaný kontinuální CO pomocí neinvazivní metody tranzitního času pulzní vlny nízkou přesnost ve srovnání s transpulmonální termodilucí a analýzou pulzního obrysu. U pacientů se sepsí, polytraumatem nebo jinými stavy, nebylo možné prokázat přijatelnou shodu.

Goranović et al. (2017, s. 62 - 64) udává při studii mezi lety 2013 - 2016 ve Fakultní nemocnici Sveti Duh v Chorvatsku použití PiCCO u 27 pacientů z 2983, u kterých byla sledována hemodynamika. U 1640 pacientů byla použita monitorace centrálního venozního tlaku (CVP) a u 1316 pacientů invazivní měření arteriálního tlaku (ABP). U žádného pacienta nebyl použit PAC. Studie ukázala, že použití PiCCO na studované JIP bylo mnohem nižší, než je doporučeno a uváděno v literatuře kvůli finančním omezením a nedostupnosti místního vybavení. Místní lékaři rozhodují o léčbě pacienta na základě údajů o CVP a ABP, ačkoliv pro celkové zlepšení kvality léčby pacientů na JIP by bylo lepší řídit se současnými klinickými pokyny.

Aslan et al. (2020, s. 3, 7) ve studii, při které srovnával měření CO u 15 dětských pacientů, z čehož mělo 8 pacientů septický šok, 2 syndrom akutní dechové tísně, 2 kardiogenní šok a 3 plicní edém, uvádí, že kvůli různým komplikacím invazivních technik jsou na jednotkách intenzivní péče pro hemodynamické monitorování preferovány méně invazivní metody. V posledních letech má použití ultrazvuku vzestupný trend a stalo se populárnějším i na dětských JIP. Na základě výsledků této studie navrhuje, že echokardiografická měření CO, prováděná zkušeným týmem pediatrické intenzivní péče a pediatrické kardiologie, mohou být při plánování léčby kriticky nemocných dětských pacientů stejně hodnotná jako invazivní monitorovací měření.

Metoda monitorace pomocí systému LiDCO je spojena se systémem ředění lithia. Tato metoda používá 0,5 – 2 ml bolusů chloridu lithného (do maximální kumulativní dávky 20 ml) injikovaných centrálním nebo periferním žilním katetrem a koncentrace lithia se měří senzorem připojeným k zavedené arteriální kanyli (Kobe et al, 2019, s. 8 - 9). Senzorová membrána obsahuje ionofor, který je selektivně propustný pro lithium. Monitor LiDCO vyžaduje podle výrobce kalibraci CO s ředěním lithia jednou za osm hodin. Na základě posledních údajů však bylo navrženo, že opakovaná kalibrace by měla probíhat během velkých hemodynamických změn. Rekalibrace se doporučuje před injekcí léků nebo po poklesu maximální koncentrace. Dávkování bolusu se také doporučuje, pokud nelze zabránit nedepolarizujícímu použití svalové relaxancie. Přítomnost nedepolarizujících neuromuskulárních blokátorů, zejména atracuria a

rocuronia, navíc vede k nadhodnocení CO v důsledku zkřížené reakce těchto myorelaxancií s lithiovým senzorem při vysokých dávkách. Tato technika je kontraindikována u pacientek s tělesnou hmotností pod 40 kg a během prvního trimestru těhotenství (Kobe et al., 2019, s. 9). Terapie lithiem je také kontraindikací pro použití monitoru LiDCO, protože při ní dochází k nadhodnocení CO. Některá nedepolarizující svalová relaxancia obsahují vysoké hladiny kvartérních amoniových zbytků, což způsobuje unášení elektrody. (Lee et al., 2011, s. 5 - 6) Systém LiDCO poskytuje srovnatelná měření CO s PAC, ale na rozdíl od PiCCO nebyl zkoumán u pacientů při léčbě syndromu akutní dechové tísně. LiDCO navíc není spolehlivý při svalové relaxaci pacienta, protože kvarterní amoniové iontové látky mohou interferovat s lithiovým senzorem (Rozental et al., 2020, s. 3488).

U novějšího monitoru LiDCO rapid bylo ředění lithia nahrazeno nomogramem, který byl odvozen z údajů v těle pro odhad CO. Systém se vyznačuje jednoduchostí a snadným použitím. Byl navržen tak, aby poskytoval spolehlivě naměřené hemodynamické hodnoty, které by byly užitečné pro cílenou tekutinovou terapii (Lee et al., 2011, s. 6). Analýzou arteriální křivky algoritmem, který používá přístroj LiDCO rapid, se vypočítá předkalibrační srdeční výdej. CO je pak vypočten vynásobením předkalibračním srdečním výdejem a kalibračním faktorem, který je získán z normogramu na základě demografických dat pacienta, jako je věk, váha a výška. Data naznačují, že monitor Lidco rapid je v intenzivní péči srovnatelný s ostatními miniinvazivními metodami pro měření CO (Chobola et al., 2017, s. 340).

Standardní PAC byl vyvinut Dr. Swan a Ganzem. Má po své délce čtyři lumeny a tyto lumeny umožňují hodnocení hemodynamických dat na různých místech podél pravostranné cirkulace. Dostupné údaje zahrnují tlak v pravé komoře, tlak v plicní tepně (PAP) a tlak v plicním kapilárním klínu. Pomocí těchto proměnných a naměřených hodnot srdeční frekvence, systémového arteriálního tlaku a CO lze vypočítat řadu hemodynamických proměnných, včetně plicní a systémové vaskulární rezistence a poměru extrakce kyslíku. Přes PAC se nejčastěji měří CO pomocí termodiluční (TD) techniky (Tsang, 2013, s. 572 - 573). Při použití TD techniky umožňují novější technologie aplikované na PAC kontinuální měření CO. Využitím elektrického vlákna zabudovaného do pravé ventrikulární části PAC se přerušovaně zahřívá krev protékající pravým srdcem, přibližně 15 až 25 cm proximálně od špičky PAC. Výsledný tepelný signál je měřen termistorem na špičce katétru. Bylo prokázáno, že měření CO kontinuálním TD obecně dobře koreluje s přerušovaným bolusovým měřením. Tyto katetry poskytují kontinuální trend CO, snižují pracovní zátěž sestry a případně snižují riziko infekce spojené s bolusovou technikou. Zobrazené hodnoty se aktualizují každých 30 až 60 sekund a

projeví se v průměrné hodnotě CO naměřené za posledních 5 – 15 minut (Lee et al., 2011, s. 3 - 4). Mezi výhody této metody patří její ověřená spolehlivost při správném použití a snadné použití u postele. Faktory, které ovlivňují spolehlivost techniky TD, zahrnují významnou regurgitaci trikuspidální nebo plicní chlopně nebo jakoukoliv intrakardiální manipulaci (Tsang, 2013, s. 573). V posledních letech se objevil PAC, který může používat topnou spirálu umístěnou proximálně, která přerušovaně ohřívá procházející krev. Toto zvýšení teploty se měří distálně a umožňuje polokontinuální výpočet CO (Pinder a Burnand, 2020, s. 7). Bolusová technika TD je založena na zákoně zachování energie. Známé množství studeného roztoku se vstříkne proximálním portem PAC do pravé síně a toto řešení je detekováno distálně termistorem několik centimetrů od konce PAC. Zjištěná změna teploty krve způsobí změnu odporu termistoru, což umožňuje výpočet plochy pod křivkou TD (Lee et al., 2011, s. 3 - 4). Tyto informace lze poté použít k vytvoření semilogaritmické změny teploty v průběhu času, kde lze plochu pod křivkou použít k vytvoření čísla pro CO na základě Stewart Hamiltonovy rovnice. (Pinder a Burnand, 2020, s. 7) Doporučené objemy injektátu jsou 10 ml pro dospělé a 0,15 ml na 1 kg pro děti. Doporučuje se doba vstříkávání 4 sekundy nebo méně se stálým tlakem, aby se zabránilo opožděnému zdvihu křivky TD. Je třeba zdůraznit, že TD s PAC měří odtok pravé komory a nikoli systémový CO (Lee et al., 2011, s. 3 - 4).

D'arrigo et al. (2020, s. 2 - 7) ve své studii zkoumali, zda se dá měřit CO pomocí termodiluce, přes periferně zavedený CŽK se třemi nebo jedním lumenem. Tato studie byla prováděna po dobu 6 měsíců v nemocnici Fondazione Policlinico Universitario v Římě a bylo do ní po vyřazovacích kritériích zahrnuto 15 pacientů. U 8 pacientů byl zaveden periferní CŽK s jedním lumenem a u 7 periferní CŽK se třemi lumeny, u všech byl zaveden i klasický CŽK. Katetry u všech pacientů byly zavedeny do vena jugularis interna přes vena brachialis, vena basilica a vena axilaris. Po 320 měřeních dospěli k závěru, že periferně zavedený CŽK je vhodnou alternativou k měření CO pomocí termodiluce u pacientů na JIP. Jednolumenový katetr byl nejpřesnější, zatímco katetr se třemi lumeny může být vhodný u pacientů s větším množstvím infuzí. Navzdory kontroverzím, komplikacím a chybám v měření zůstává občasné bolusové měření PAC zlatým standardem. Novější techniky poskytují méně invazivní alternativy a budou postupem času stále častěji přijímány. V současnosti dostupné monitory však stále nejsou schopny poskytovat centrální cirkulační tlaky nebo skutečné smíšené žilní saturace a nemohou nahradit PAC. Mnoho minimálně invazivních technik i nadále trpí sníženou přesností a spolehlivostí v obdobích hemodynamické nestability (Lee et al., 2011, s. 12).

Přínos způsobený monitorováním CO je stále nejistý a pokračují snahy o vývoj minimálně invazivních zařízení umožňujících odhad CO. Monitorace pomocí metody odhadovaného nepřetržitého srdečního výdeje (esCCO), kterou používá přístroj Vismo, je založena na měření běžně používané v perioperační péči pomocí elektrokardiografu (EKG), neinvazivní monitorace krevního tlaku (NIBP) a pulzní oxymetrie, tudíž je zcela neinvazivní. Funguje na principu doby přenosu pulzní vlny. To znamená, že měří zpoždění mezi vlnou R na EKG s vzestupem a vrcholovým bodem na pulzní vlně, která je měřena pomocí pulzního oxymetru během jednoho srdečního cyklu. Spolehlivost pomocí metody esCCO zatím nebyla dostatečně prokázána a je přinejmenším sporná, zvláště pak u hemodynamicky nestabilních pacientů (Chobola et al., 2017, s. 339 - 340). Platnost techniky je třeba posoudit mezi pacienty na JIP. Jako neinvazivní metoda umožňující nepřetržitý odhad CO představuje přístroj Vismo alternativu k invazivnějším monitorovacím metodám. Je však třeba určit, zda vykazuje přijatelnou přesnost a zda dokáže správně detekovat změny CO u pacientů v kritickém stavu na odděleních JIP (Ehlers et al., 2020, s. 5).

Chobola et al. (2017, s. 240 - 344) porovnával ve studii neinvazivní monitorace CO pomocí přístroje Vismo s miniinvazivním monitorem LiDCO rapid. Tato studie byla prováděna ve Fakultní nemocnici u sv. Anny v Brně a bylo do ní zahrnuto 10 pacientů, u kterých proběhlo celkem 141 párových měření. U všech pacientů byl invazivně monitorován ABP přes arteria radialis na levé ruce. Všem pacientům bylo také monitorováno EKG a měli nasazen pulzní oxymetr na prostředníček levé ruky. Tato studie ukázala, že monitorace hemodynamiky přístrojem Vismo přináší odlišné výsledky od přístroje LiDCO rapid. Monitor Vismo i přes výhodu neinvazivity netvoří v současné době plnohodnotně schopnou náhradu za monitor LiDCO rapid.

Monitorace pomocí ultrazvukových technologií, jako je měření na Dopplerově principu a echokardiografie, je velkým přínosem, protože tyto metody jsou také spolehlivé při hodnocení CO a tekutin v reálném čase. Transtorakální (TTE) a transesofageální (TEE) echokardiografie poskytují klíčové informace o ventrikulární funkci a dynamických parametrech objemové odezvy, jako jsou změny integrálu rychlosti a času výtokového traktu levé komory a plicí tlak levé komory. Tyto monitory jsou však omezeny jejich přerušovaným měřením a potřebou odborných znalostí v oblasti správného vyrovnaní paprsku ultrazvuku vzhledem ke strukturám těla nebo směru krevního toku (Rozenal et al., 2020, s. 3489 - 3490). Ultrazvuk emitovaný sondou se odráží a má frekvenční posun v závislosti na rychlosti červených krvinek v sestupné aortě. Skutečný tepový objem na úrovni odtoku levé komory se poté odhaduje za předpokladu,

že sestupná aorta přijímá 70% celkového CO (Kobe et al., 2019, s. 12). Na odděleních JIP je uspokojivá hodnota CO častým terapeutickým cílem, hlavně u pacientů v šokovém stavu. Pomocí TTE nebo TEE echokardiografie můžeme stanovit absolutní hodnotu srdečního výdeje, zároveň můžeme zjistit všechny tři základní determinanty tepového objemu (preload, afterload a kontraktilitu) (Lipš et al., 2015, s. 229). Echokardiografie je zavedeným nástrojem k hodnocení příčin hemodynamické nestability u pacientů na JIP pomocí vizualizace srdečních komor, chlopní a perikardu a srdečních funkčních abnormalit. TTE nebo TEE echokardiografii lze použít jako přístup pro rychlé a cílené vyšetření (Cioccarì et al., 2018, s. 3). TTE je na odděleních JIP stále využívanější především proto, že umožňuje získat neinvazivní cestou základní informace o hemodynamice pacienta do několika minut. Jeho hlavní výhodou je množství a komplexnost informací, které jsme schopni touto metodou získat. Samozřejmě i toto vyšetření má své limity, např. nedostatečně kvalitní zobrazení nebo artefakty. S postupným zdokonalováním techniky ubývají pacienti, které nelze vyšetřit, nicméně i nadále jsou tací, u kterých je echokardiografické vyšetření velmi složité (Lipš et al., 2015, s. 228 - 229). Opakované echokardiografické hodnocení by mohlo potenciálně poskytnout užitečné další informace, které by vedly k rychlejšímu vyřešení hemodynamické nestability. Nedávno byla vyvinuta miniaturizovaná jednoplošnicková sonda TEE, kterou lze ponechat vloženou do jícnu po dobu až 3 dnů. Kvalitativní hemodynamické hodnocení TEE pomocí miniaturizované sondy umožňuje téměř nepřetržité echokardiografické monitorování nestabilních pacientů na JIP a může poskytnout užitečné doplňkové informace pro léčbu hemodynamicky nestabilních pacientů ve srovnání se standardními monitorovacími metodami (Cioccarì et al., 2018, s. 4 - 7). Monitorace CO pomocí dopplerovského principu využívá flexibilní sondu, přibližně o velikosti nasogastrické trubice, na jejímž konci je snímač 4MHz při kontinuální monitoraci a 5MHz při měření pulzní vlny. Sonda může být ponechána na místě po několik dní až týdnů u intubovaných, sedativních, mechanicky ventilovaných pacientů. Při postupu na střední úroveň hrudníku, ideálně mezi 5. a 6. hrudním obratlem, je zařízení rovnoběžné s měřením rychlosti průtoku krve v sestupné aortě (Lee et al., 2011, s. 10 - 11). Ačkoli Dopplerův ultrazvuk je neinvazivní a snadno nastavitelný monitor, má několik omezení, která vylučují jeho použití v mnoha případech. Mezi tato omezení se řadí měření pouze sestupného toku aortou, nutná závislost na operátorovi nebo poloha sondy, která musí být velmi přesná a vychýlení o více než 20° může vést k chybným zobrazením hodnot CO (Kobe et al., 2019, s. 12 - 13). Nevýhodou ezofageální sondy je měření pouze sestupného průtoku krve aortou, který představuje přibližně 70% celkového průtoku, a proto musí být přidán korekční faktor (faktor K), který kompenzuje průtok krve do cév aortální klenby. Tento poměr toku se může lišit v závislosti na metabolické

aktivitě, mezi různými orgány a během hemodynamické nestability, přičemž platnost je u mladých zdravých pacientů diskutabilní (Lee et al., 2011, s. 12).

Cioccari et al. (2018, s. 7 - 8) uvádí, že echokardiografie se osvědčila jako užitečný nástroj k identifikaci reverzibilních příčin šoku a ke sledování funkce levé a pravé komory. Navzdory několika doporučením pro jeho použití na JIP, nebyl dosud ve velkých randomizovaných studiích studován vliv echokardiografie jako monitorovacího způsobu na relevantní výsledky pacientů.

Neinvazivní monitory v současné době nemohou zcela nahradit PAC, ale postupně přebírají jeho použití. Stejně jako u všech zařízení pro měření CO, existuje variabilita v kvalitě měřených a odvozených dat i u neinvazivních monitorů. Pro všechna miniinvazivní a neinvazivní zařízení pro měření CO a pro technické zařízení obecně je nejdůležitější, jak jsou generovaná data interpretována lidmi, kteří je používají (Kobe, 2019, s. 15).

2.2 Přehled publikovaných poznatků o monitoraci ostatních parametrů hemodynamiky v intenzivní péči

ABP, CVP a PAP tvoří základní kámen hemodynamického monitorování u pacientů na JIP a u pacientů podstupujících velké operace. Vzhledem k jejich mnoha komplikacím, které vznikají kvůli invazivní povaze této techniky, a kvůli dlouhodobému pobytu katétrů v krevním řečišti, bylo vyvinuto úsilí hledat neinvazivní metody monitorování hemodynamiky, které se v dnešní době stále používají zřídka (Arora et al., 2014, s. 174). Ve fyziologii srdce je křehká rovnováha mezi vnějšími (např. předpětí nebo následným zatížením) a vnitřními (např. elektrickou aktivací nebo kontraktilitou) vlastnostmi srdce. Kardiovaskulární selhání je třetím důvodem pro vstup na JIP a druhou příčinou úmrtí na JIP. Dále se odhaduje, že na celém světě se každoročně provádí přibližně 230 milionů velkých chirurgických zákroků v celkové anestezii a perioperační kardiovaskulární události zůstávají hlavní příčinou pooperační smrti (Vallée et al., 2020, s. 2). U vážně nemocných pacientů na odděleních JIP, u pacientů podstupujících chirurgické zákroky zahrnující velké hemodynamické změny a u pacientů podstupujících srdeční operace může být nutné monitorování hemodynamiky ve formě invazivního arteriálního, centrálního venózního tlaku a monitorování tlaku v plicních tepnách. Tyto techniky jsou považovány za zlaté standardy hemodynamického monitorování, ale jsou spojeny s jejich neodmyslitelnými riziky (Arora et al., 2014, s. 168). U pediatrických pacientů na pediatrických JIP existuje vyšší riziko hemodynamické nestability. U kriticky nemocných pediatrických pacientů je proto životně důležité plánování vhodné parenterální aplikace tekutin a inotropního vazopresorového inodilatačního ošetření. K hodnocení hemodynamického stavu pacienta se běžně používají srdeční frekvence, průměrný arteriální tlak, výdej moči a další konvenční metody monitorování, jako je CVP (Aslan et al., 2020, s. 2).

Invazivní měření ABP pomocí arteriálního katetru je považováno za základní referenční metodu u kriticky nemocných pacientů. Arteriální katetry také usnadňují odběr krve pro analýzu krevních plynů a laboratorní vyšetření. Přestože směrnice doporučují umístění arteriálního katetru pro invazivní monitorování u pacientů s podezřením na oběhový šok, tak neinvazivní oscilometrické měření arteriálního tlaku pomocí tlakové manžety na horní části paže je široce používanou alternativou. Tato metoda umožňuje automatické, občasně, rychlé a pohodlné měření krevního tlaku (Kaufmann et al., 2020, s. 118). ABP je základní kardiovaskulární hodnotou. Běžně se měří v pooperační medicíně a na JIP. Má významný dopad na management pacientů. Klíčovým předpokladem pro správné invazivní monitorování

ABP pomocí arteriálního katetru je důkladné pochopení principu měření, kritérií kvality křivky tlaku a běžných úskalí, která mohou hodnoty ABP zkreslovat (Saugel et al., 2020, s. 2). Arteriální katetrizace je běžně prováděný zákrok na odděleních JIP u pacientů, jenž vyžadují přesné hemodynamické monitorování. Tato technologie však není vždy k dispozici při sekundárních transpotech pacientů kvůli těžkopádným a nákladným požadavkům na vybavení. Invazivní měření ABP se doporučuje a považuje se za standard péče o pacienty s hemodynamickou nestabilitou v nemocnici. Toto měření může být nejpřesnějším prostředkem monitorování tlaku a je optimální i pro pacienty při sekundárních transpotech, ale logistická omezení jako vybavení a čas jsou omezujícími faktory (Schmid et al., 2020, s. 389 - 390). Běžně používanými místy pro umístění arteriálních katétrů jsou radiální, brachiální a femorální tepny. Méně často používanými inzertními místy jsou ulnární, axilární, temporální a tibiální artérie. Kontraindikacemi pro arteriální kanylaci mohou být lokální infekce, trombóza, abnormality v anatomii cév v místě vpichu nebo aktivní Raynaudův syndrom (Saugel et al., 2020, s. 2 - 3). Běžné nastavení pro invazivní měření ABP používané na JIP zahrnuje katétr o průřezu 20G umístěný v tepně připojený ke spojovací hadičce, která je poté připojena k převodníku tlaku a automatickému proplachovacímu systému složenému z tlakového vaku s automatizovanou infuzí fyziologického roztoku. Tento konkrétní systém vyžaduje časté recalibrace a speciální vybavení a jeho nastavení může být časově náročné (Schmid et al., 2020, s. 390). Zavádění arteriálních kanyl však není bez souvisejících komplikací. Tyto komplikace, včetně okluze kanyly, vaskulárního poranění a krvácení, se mohou objevit brzy po kanylaci. Zejména výměna ucpaných arteriálních kanyl zvyšuje riziko vaskulárního poranění a krvácení. Rutinní údržba arteriálních kanyl zahrnuje pravidelné proplachování fyziologickým roztokem s přidáním 2,5 j. heparinu v jednom ml, aby se zabránilo okluzi kanyly. Mezi další postupy údržby kanyly patří použití proplachu infuzí pod přetlakem, aby se zabránilo retrográdnímu průtoku krve. Heparin je silný lék, pokud jde o jeho schopnost zabránit tvorbě sraženin v kanyle, ale jeho použití není bez rizika krvácení a alergických reakcí. Proplach pomocí heparinu je běžně používán pro zachování průchodnosti kanyly. Je však třeba se vyhnout jeho zbytečnému použití, protože i v malých dávkách může mít za následek řadu komplikací (Xiong et al., 2019, s. 1 - 5). Zavádění katetru do radiální tepny se používá nejčastěji, protože je technicky snadné a zřídka spojené s velkými komplikacemi. Radiální tepna je nejlépe hmatatelná mezi distálním poloměrem a šlachou flexoru carpi radialis 1 – 2 cm proximálně od zápěstí. U kanylace radiální tepny by mělo být zápěstí a ruka pečlivě imobilizovány a zajištěny tak, aby zápěstí leželo na měkké opěrce a aby bylo mírně flektováno. Kanylace by měla být zahájena co nejdále, protože po neúspěšné kanylaci lze přejít do proximálnějšího místa vpichu. Brachiální tepnu, i když je

hlavní tepnou paže, lze také použít pro monitorování arteriálního tlaku. Přestože umístění arteriálního katétru do brachiální tepny má nízkou celkovou míru komplikací, jeho komplikace jsou spojeny s dlouhou hospitalizací a dokonce se zvýšenou úmrtností. Brachiální tepna je nejlépe hmatatelná mediálně do šlachy bicepsu v loketní jamce, když je rameno v mírné abdukci, loket v extenzi a předloktí v supinaci. Stehenní tepna je největší tepnou používanou pro umístění arteriálního katétru a míra komplikace umístění arteriálního katétru do femorální tepny je srovnatelná s mírou jiných míst. Stehenní tepna je nejlépe hmatatelná těsně pod středem tříselného vazy, přičemž pacient leží na zádech, jeho noha je v extenzi, mírně v abdukci a zevně rotována. Punkci stehenní tepny je třeba provádět distálně k tříselnému vazy, aby se minimalizovalo riziko krvácení do pánve nebo retroperitonea (Saugel et al., 2020, s. 2 - 3). V posledních letech byly zkoumány nové varianty pro měření ABP. Jednou takovou je tlakové zařízení Compass. Je to malé, kompaktní, jednorázové vaskulární tlakové zařízení, které lze připojit přímo k části arteriálního katétru nebo pomocí krátké části prodlužovací hadičky připojené ke katetru. Toto zařízení má několik možností aplikace, včetně monitorování CVP, pomocí zavedeného CŽK (Schmid et al., 2020, s. 390).

Xiong et al. (2019, s. 5 - 8) do studie zahrnul celkem 296 pacientů s arteriálním katetrem, při čemž u 148 byl použit proplach pomocí přetlakové infuze a u 148 byl použit fyziologický roztok s heparinem. V této studii uvádí, že přidání heparinu do normálního fyziologického roztoku k proplachování kanyl sledujících arteriální tlak nesnížilo výskyt sraženin v katetru a vedlo k velmi malému, ale statisticky významnému zvýšení ACT a APPT.

Schmid et al. (2020, s. 390 - 392) zkoumali ve své studii přesnost a spolehlivost jednorázového zařízení Compass s invazivním arteriálním monitorovacím systémem tlakového snímače používaným na JIP aby zjistili, zda lze toto zařízení spolehlivě použít místo tradičního převodníku tlaku. Tato studie byla prováděna v nemocnici New Mexico Hospital ve městě Albuquerque a bylo do ní zahrnuto 15 oběhové stabilních pacientů ve vážném stavu, u kterých byly využity obě možnosti měření ABP. Měření jednoho pacienta nebylo možno dokončit z důvodu poruchy zařízení. U 14 subjektů bylo zjištěno, že zařízení Compass poskytuje přiměřený odhad středního arteriálního tlaku a může být vhodný pro monitorování ABP v situacích, kde nejsou k dispozici standardní nastavení monitorování. Problém může nastat u příliš vysokých nebo nízkých hodnot, protože podhodnocuje nízký ABP a nadhodnocuje vysoký ABP.

Krevní tlak je pravděpodobně jedním z nejčastěji sledovaných hemodynamických parametrů. Konvenční měření pomocí tlakoměru s manžetou, i když pohodlné a spolehlivé,

nevykazuje kontinuální změny a je plně nepřesností u pacientů se systémovou vaskulární rezistencí (Arora et al., 2014, s. 168 - 169). Krevní tlak je také jedním z nejdůležitějších parametrů vitálních funkcí, který je monitorován u pacientů v anesteziologii a intenzivní péči. V současné době jsou metody monitorace významně ovlivněné invazivitou, která však měří kontinuálně přes přímé napojení do arterie, nebo nižší přesností a nutností intermitentního měření při neinvazivní monitoraci. Rozvoj nových technologií umožňuje kontinuální měření bez nutnosti zavedení arteriálního katetru. Tento rozvoj může výrazně zlepšit kvalitu intenzivní péče a bezpečí pro pacienta (Beneš et al., 2014, s. 222 - 228). Kontinuální měření NIBP je nezbytný pro monitorování hemodynamické stability pacientů v kritickém stavu, včetně šoku a těžké periferní vazokonstrikce, nebo pacientů podstupujících velké operační výkony. Intraarteriální krevní tlak s arteriálním katetrem je běžně používán lékaři kvůli jeho včasnosti a přesnosti. Byly však odhaleny potenciální komplikace této invazivní metody, jako je okluze periferních tepen, infekce nebo tvorba trombu v místě zavedení katetru a sepse (Sun et al., 2017, s. 1 - 6). V současných letech užívané techniky automatického měření NIBP pracují na principu oscilometrie s nutností použití nafukovací manžety nejčastěji na paži pacienta. U těchto metod je doporučeno měření každých 5 minut. Čas potřebný k nafouknutí, vyfouknutí a změření tlaku se v průměru pohybuje okolo 30 sekund, ale u různých výrobců se tento čas liší. V přítomnosti extrémně nízkých nebo vysokých tlaků, či pohybových artefaktech, může dojít k automatickému zopakování nafouknutí manžety. Výsledek je potom zobrazen s možným zpožděním, které může být až 1 minutu od začátku měření a klinického požadavku. Příliš časté nafukování manžety a krátké zotavovací intervaly mají svá rizika. Mohou mít za následek vznik poškození kožního krytu, či nervových poranění (Beneš et al., 2014, s. 222 - 223). V posledních letech byly popsány inovativní technologie umožňující nepřetržité neinvazivní monitorování arteriálního tlaku hlavně pro použití v intenzivní péči a anesteziologii. Arteriální aplanační tonometrie, což je neinvazivní, reprodukovatelná a přesná metoda, která umožňuje určit tvar aortální křivky a umožňuje kontinuálně získávat hodnoty systolického, středního a diastolického tlaku. Ve srovnání s invazivními prostředky nabízí radiální arteriální aplanační tonometrie lepší pohodlí pacienta a usnadňuje měření NIBP (Sun et al., 2016, s. 1 - 7). Neinvazivní tonometrická technologie aplanace radiální artérie umožňuje nepřetržitě určovat tlak v arterii na bázi beat-to-beat. Pro záznam NIBP s aplanační aplanací radiální tepny se využívá senzor umístěný na kůži pacienta, který vyvíjí tlak na radiální tepnu, přičemž je podporován radiální kostí. Tlak senzoru aplikovaného na radiální tepnu je optimální, pokud vede k transmuralnímu tlaku stěny tepny. V tomto okamžiku senzor kontinuálně analyzující křivku arteriálního tlaku detekuje maximální pulzní tlak a tak může určit střední tlak

(Langweiser et al., 2015, s. 218 - 220). Céva je dostatečně stlačena, aby ji zploštila, ale neuzavřela. Tlak se poté měří proti kostnímu povrchu. Tlak potřebný k vyrovnání tepny se poté použije k odvození systolického, diastolického a středního tlaku pomocí algoritmu (Arora et al., 2014, s. 169). V dalším kroku se škálováním zaznamenané křivky pomocí proprietární přenosové funkce odvozuje systolický a diastolický tlak. Tvar křivky a hodnoty NIBP se nepřetržitě zobrazují na monitoru, což umožňuje monitorování tlaku mezi rytmy (Langweiser et al., 2015, s. 118 - 120). Z hlediska klinického přístupu tedy existuje určitá mezera mezi kontinuálním, přesnějším měřením, které je však invazivní a neinvazivním postupem, který má nižší přesnost a poskytuje hodnoty intermitentně. Techniky, které jsou neinvazivní a tudíž méně zatěžující pro pacienta a zvládnou kontinuální měření krevního tlaku, mohou výrazně vyplnit tuto mezeru (Beneš et al., 2014, s. 222 - 223). Uzavřením této mezery mezi kontinuálním invazivním monitorováním ABP a přerušovaným neinvazivním monitorováním NIBP oscilometrickou metodou by tato technologie mohla rozšířit možnosti týkající se hemodynamického sledování u pacientů na JIP, zvláště potom v kardiochirurgii (Langweiser et al., 2015, s. 220).

CVP a PAP se používají jako měřítka náplně cévního řečiště. Zatímco vztahy objem a tlak nejsou konstantní, hodnoty při monitoraci centrálního venózního tlaku naznačují zvyšování nebo snižování plnění pravé srdeční komory, zatímco tlak v plicní tepně poskytuje nepřímou informaci o tlaku v levé komoře. CVP, tlak v nitrohručních žilách, se měří zavedením katetru přes vena jugularis interna nebo vena subclavia (Gilbert, 2018, s. 189 - 190). Vysoký CVP může znamenat, že je vyžadován vyšší plicní tlak v oběhu a tento požadavek lze splnit objemovou infuzí nebo farmakologicky indukovanou vazokonstrikcí. Změna CVP po objemové infuzi je také dobrým indikátorem funkce pravé komory (Tsang, 2013, s. 569).

CŽK může být potažen buď antibiotiky, nebo antiseptiky, u nichž je prokázáno, že snižují rychlost infekcí krevního oběhu souvisejících s centrální žilní kanylací. Bohužel v současné době existují stále katetry, které mohou způsobit alergickou reakci (Pinder a Burnand, 2020, s. 2). Zavádění CŽK je invazivní výkon, který vyžaduje zachování přísně aseptických podmínek a vysoké úrovně dovedností. Tento výkon s sebou nese značné riziko komplikací jako infekce, trombotické komplikace nebo komplikace mechanické (Gilbert, 2018, s. 189 - 190). Příkladem dalších komplikací spojených s používáním CŽK je tvorba kožního hematomu, trombus a v případě zavedení ve vena jugularis interna pneumotorax (Tsang, 2013, s. 570). Mezi indikace pro zavedení centrálního žilního přístupu patří léky vyžadující výdej do centrálního oběhu přes CŽK, špatný periferní žilní přístup, injekce s indikátorovým roztokem

pro stanovení srdečního výdeje, substituční léčba ledvin a jako přístupový port pro další zařízení, jako je například zavedení katetru plicní tepny nebo dočasných kardiostimulačních vodičů. Existuje mnoho forem CŽK určených pro různá použití. V akutním prostředí se nejčastěji zavádí vícepramenný katetr, který umožňuje měření CVP, podávání infuze léků a tekutin, i odběr vzorků venózní krve. Vedení periferně zavedeného centrálního katétru lze zavést u pacientů vyžadujících dlouhodobá antibiotika, chemoterapii nebo parenterální výživu (Pinder a Burnand, 2020, s. 1 - 2). Aby však bylo měření tlaku správné, je nutné splnit určité technické podmínky. Jedním z nich je, že snímač tlaku musí být umístěn správně. Při měření CVP se do jedné z centrálních žil těla vloží katetr, přičemž špička katetru je umístěna v pravé síni v dutině žíly nebo vedle ní. Dále je katetr připojen k převodníku, který přenáší elektrický signál do monitoru. Monitor zobrazuje většinou průměrný tlak pomocí analogové křivky, ale lze ho nakonfigurovat na tlak střední nebo systolický a diastolický. Převodník musí být vynulován na tlak okolí a musí být svisle vyrovnán s fyziologickým referenčním bodem na hrudním povrchu (Sjodin et al., 2019, s. 213 - 214). Absolutní hodnoty CVP měřené ve vztahu k atmosféře jsou ovlivněny nitrohrudním tlakem. Jelikož se tento tlak mění s dýcháním a ovlivňuje tak CVP, měl by být pro odečet zvolen časový bod, kde je tento tlak vůči atmosféře nulový. Takovým bodem je konec expiria. CVP by proto měl být vždy použit na konci výdechu (Arora et al., 2014, s. 170).

CVP se měří u pacienta ležícího naplocho, na konci diastoly a na konci expiria. Převodník by měl být umístěn na úrovni pravé síně, čtvrtého mezižeberního prostoru ve střední axilární linii (Pinder a Burnand, 2020, s. 4). Zajištění správného měření spadá do oblasti péče sestry na JIP. Nepřesné vyrovnání může mít za následek nepravdivé posouzení, které by zase mohlo vést k nesprávné léčbě. Změna vertikální úrovně o pouhých několik centimetrů může způsobit velkou procentuální změnu odečtu tlaku, protože hodnota CVP se obvykle pohybuje mezi 0 a 10 mmHg, to znamená, že je citlivá na jakékoliv vychýlení nebo změnu pozice. (Sjodin et al., 2019, s. 214). CVP může být zvýšen v důsledku objemového přetížení, srdeční tamponády, venózní obstrukce nebo selhání myokardu a také může být nízký při hypovolemických stavech. Další technické faktory, které mohou ovlivnit CVP, jsou zablokovaný port, nesprávné umístění snímače, aplikace vysokých hladin pozitivního tlaku na konci výdechu, poloha pacienta, nesprávné umístění CŽK (Pinder a Burnand, 2020, s. 6).

D'arrigo et al. (2020, s. 2) uvádí, že silně injektovatelné polyuretanové periferně zavedené CŽK umožňují vysokorychlostní infuzi tekutin (až 3 – 5 ml za sekundu), což je činí potenciálně vhodnými pro bolusovou TD techniku monitorace CO během transpulmonální léčby. Tyto katetry jsou ekvivalentní CŽK pro měření CVP.

PAP se monitoruje skrze PAC, který je umístěn v plicní tepně. PAC lze použít k měření srdečního plnicího tlaku, centrální žilní saturace kyslíkem a teploty jádra. Měřené tlaky plnění srdce jsou CVP, PAP a kapilární tlak v zaklínění. Tlak levé síně a diastolický tlak levé komory lze určit z kapilárního tlaku v zaklínění. PAC lze také použít k odvození CO a plicní a systémové vaskulární rezistence (Pinder a Burnand, 2020, s. 3 - 4). Katetr je nejčastěji zaveden skrz vena subclavia nebo vena jugularis interna. Na špičce katetru se nachází balonek, který při naplnění malým objemem vzduchu cca 2 ml pomáhá k uchycení katetru v centrálních žilách, přes pravé srdce do proximálních výběžků plicní tepny. Průchod těmito komorami se ověřuje monitorováním tlakové křivky. K potvrzení správného umístění katétru se také dá použít echokardiografické, či radiologické monitorování. Stejně jako při monitorování systémového arteriálního tlaku se tlaková křivka používá ke stanovení systolického a diastolického tlaku. Systolický tlak v plicní tepně se liší podle pohlaví, věku, ejekční frakce pravé komory a indexu tělesné hmotnosti (BMI). Za horní hranici normálního rozmezí se obvykle považuje 30 mmHg, ale u starších a obézních pacientů může být hodnota až 40 mmHg při normální srdeční funkci (Gilbert, 2018, s. 191 - 192). Mezi komplikace PAC se řadí ruptura plicní arterie, která může být jednou z nejničivějších komplikací tohoto postupu a často vede k úmrtí. Méně závažné poranění může vést ke vzniku aneuryzmatu plicních tepen. Mezi další komplikace patří tachyarytmie a blokády převodu srdečního, tromboembolické komplikace, plicní infarkty a poškození chlopní a endokardu (Arora et al., 2014, s. 174). Kontraindikace pro zavedení PAC zahrnují: koagulopatie a trombocytopenie, pacienty s blokádou větve levého svazku, u kterých se během zavedení PAC vyskytne kompletní blokáda a pravostranné chlopněvé abnormality, včetně protézy, které mohou ztěžovat zavedení PAC (Pinder a Burnand, 2020, s. 6).

2.3 Význam a limitace dohledaných poznatků

Přehledová bakalářská práce obsahuje poznatky, které dokládají možnosti monitorace hemodynamiky. Zpracované studie předkládají přehled monitorace srdečního výdeje a ostatních parametrů hemodynamiky jako je měření tlaků uvnitř cév. Veškeré informace jsou sumarizací aktuálních dohledaných poznatků z databází EBSCO, Ovid, Pub Med a Google Scholar. Téměř všechny studie jsou ze zahraničí, například z USA, Švýcarska nebo z Itálie. Pouze jedna studie byla prováděna v brněnské nemocnici u sv. Anny. Lépe dohledatelné byly informace, které se týkaly měření srdečního výdeje. Oproti tomu bylo článků o měření tlaků v kardiovaskulárním systému méně, ale za to byly spíše použitelné pro tuto práci. Významnou limitací byl nedostatek studií, který by se věnoval některým způsobům monitorace. Z výsledku vyplývá, že zlatým standardem pro většinu monitorovaných parametrů je plicní arteriální katetr. Použití méně invazivních monitorů je často limitováno nedostatečně přesnou interpretací hodnot, složitým využitím nebo příliš velkou zátěží. Invazivní metody monitorace jsou spíše spolehlivější než zcela neinvazivní monitorovací zařízení.

Tato přehledová bakalářská práce může být využita jako vzdělávací materiál pro zdravotnický personál. Může být rovněž využita jako zdroj informací a podklad pro další odborné studie.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá monitorací pacienta v intenzivní péči, konkrétně monitorací hemodynamiky. Cílem této práce bylo sumarizovat aktuální dohledané publikované poznatky o monitoraci hemodynamiky v intenzivní péči. Na dané téma bylo dohledáno množství, po většinou zahraničních článků a studií. Informace z těchto zdrojů se zabývali způsoby monitorace pacientovi hemodynamiky v intenzivní péči. Některé metody porovnávají a ukazují jejich výhody a nevýhody.

Prvním dílčím cílem bylo sumarizovat přehled publikovaných poznatků o monitoraci hemodynamiky v oblasti srdečního výdeje. Ideální monitor srdečního výdeje by měl být co nejméně invazivní, nevyžadující kalibraci, přesný, kontinuální a spolehlivý během různých hemodynamických změnách. Autoři srovnávali jednotlivé metody monitorace mezi sebou nebo zkoumali spolehlivost metod při určitých stavech. I přes množství neinvazivních a miniinvazivních možností měření nejsou současné monitory schopny přesného měření, u některých hemodynamicky nestabilních pacientů. Některé méně invazivní monitory jsou méně používány, protože oproti klasickým invazivním monitorům jsou finančně náročnější a mají také větší nároky na obsluhu.

Druhý dílčí cíl měl za úkol doložit aktuální poznatky o monitoraci ostatních parametrů hemodynamiky. Do těchto parametrů se řadí monitorace arteriálního tlaku, centrálního žilního tlaku a tlak v plicní tepně. Tyto tlaky tvoří základní stavební kámen monitorace u pacientů ve vážném stavu a po velkých operacích a podávají informaci o náplni cévního řečiště. Zásadní je při monitoraci práce sestry. Při špatné péči o katetr nebo monitor mohou být výsledky měření neadekvátní a způsobit poškození pacienta.

Neinvazivní způsoby monitorace nemohou v současné době úplně a ve všech případech nahradit invazivní monitoraci. I přes všechna rizika zůstávají invazivní monitory stále využívány, ale méně invazivní monitory postupně přebírají jejich použití. Kvůli této skutečnosti kladou autoři důraz na aseptické podmínky při zavádění katetrů pro invazivní měření a následnou péči o katetr. Tento dohled na katetr zmenšuje riziko místních i celkových komplikací. Každý zdravotnický pracovník by si měl uvědomit, že monitorace není léčba, ale dává nám pouze informace o pacientově stavu, proto je nejdůležitější umět s daty z monitoru pracovat v co nejlepší prospěch pacienta.

Referenční seznam

ARORA, Shubhangi, Preet Mohinder SINGH, Basavana G. GOUDRA a Ashish C. SINHA. Changing trends of hemodynamic monitoring in ICU - from invasive to non-invasive methods: Are we there yet? *International Journal of Critical Illness* [online]. 2014, 4(2), 168 - 177 [cit. 2021-01-03]. ISSN 22295151. Dostupné z: doi:10.4103/2229-5151.134185

ASLAN, Nagehan, Dincer YILDIZDAS, Ozden Ozgur HOROZ, Yasemin COBAN, Fadli DEMIR, Sevcan ERDEM a Yasar SERTDEMIR. Comparison of cardiac output and cardiac index values measured by critical care echocardiography with the values measured by pulse index continuous cardiac output (PiCCO) in the pediatric intensive care unit: a preliminary study. *Italian Journal of Pediatrics* [online]. 2020, 46(1), 1 - 8 [cit. 2020-11-23]. ISSN 17208424. Dostupné z: doi:10.1186/s13052-020-0803-y

CIOCCARI, Luca, Bjoern ZANTE, Andreas BLOCH, David BERGER, Andreas LIMACHER, Stephan M. JAKOB, Jukka TAKALA a Tobias M. MERZ. Effects of hemodynamic monitoring using a single-use transesophageal echocardiography probe in critically ill patients – study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* [online]. 2018, 19(1) [cit. 2020-12-10]. ISSN 17456215. Dostupné z: doi:10.1186/s13063-018-2714-4

D'ARRIGO, Sonia, Claudio SANDRONI, Sofia CACCIOLA, Antonio Maria DELL'ANNA, Mauro PITTIRUTI, Maria Giuseppina ANNETTA, Cesare COLOSIMO a Massimo ANTONELLI. Are single-lumen 5Fr and triple-lumen 6Fr PICCs suitable for hemodynamic assessment by trans-pulmonary thermodilution? A pilot study. *Annals of Intensive Care* [online]. 2020, 10(1), 1 - 8 [cit. 2021-01-02]. ISSN 21105820. Dostupné z: doi:10.1186/s13613-020-00785-2

EHLERS, Ulrike, Rolf ERLEBACH, Giovanna BRANDI, Federica STRETTI, Richard VALEK, Stephanie KLINZING a Reto SCHUEPBACH. Continuous Estimation of Cardiac Output in Critical Care: A Noninvasive Method Based on Pulse Wave Transit Time Compared with Transpulmonary Thermodilution. *Critical Care Research* [online]. 2020, 1 - 7 [cit. 2020-11-27]. ISSN 20901305. Dostupné z: doi:10.1155/2020/8956372

GILBERT, Michael. Central venous pressure and pulmonary artery pressure monitoring. *Anaesthesia* [online]. 2018, **19**(4), 189 - 193 [cit. 2020-11-01]. ISSN 14720299. Dostupné z: doi:10.1016/j.mpaic.2018.01.004

GORANOVIĆ, Tatjana, VIŠNJA NESEK ADAM, Elvira GRIZELJ-STOJČIĆ, Miroslava JAKŠIĆ, Ana JADRIJEVIĆ, MAJA KARAMAN ILIĆ a Martina MATOLIĆ. Current practice of hemodynamic monitoring with PiCCO in a single general surgical ICU in a university hospital - a short report. *Signa Vitae* [online]. 2017, **13**, 61 - 64 [cit. 2020-11-19]. ISSN 13345605.

CHOBOLA, M., J. HRUDA, M. LUKEŠ, J. KLIMEŠ, V. ŠRÁMEK a P. SUK. Comparison of cardiac output monitoring with the Pulse Wave Transit Time technique versus arterial waveform analysis. *Anesteziologie a Intenzivní Medicina* [online]. 2017, **28**(6), 339 - 345 [cit. 2021-02-12]. ISSN 12142158.

JAN, Beneš, Šimanová ALENA a Kasal EDUARD. Současné možnosti kontinuálního neinvazivního monitorování arteriálního tlaku. *Anesthesiology* [online]. 2014, **25**(3), 222 - 230 [cit. 2020-10-31]. ISSN 12142158.

KAUFMANN, Thomas, Eline G.M. COX, Renske WIERSEMA, et al. Non-invasive oscillometric versus invasive arterial blood pressure measurements in critically ill patients: A post hoc analysis of a prospective observational study. *Journal of Critical Care* [online]. 2020, **57**, 118 - 123 [cit. 2020-10-31]. ISSN 08839441. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcrc.2020.02.013

KOBE, Jeff, Nitasha MISHRA, Virendra K ARYA, Waiel AL-MOUSTADI, Wayne NATES a Bhupesh KUMAR. Cardiac output monitoring: Technology and choice. *Annals of Cardiac Anaesthesia* [online]. 2019, **22**(1), 6 - 17 [cit. 2021-02-13]. ISSN 09719784. Dostupné z: doi:10.4103/aca.ACA_41_18

LANGWIESER, N., L. PRECHTL, A. S. MEIDERT, et al. Radial artery applanation tonometry for continuous noninvasive arterial blood pressure monitoring in the cardiac intensive care unit. *Clinical research in cardiology: official journal of the German Cardiac Society* [online]. 2015, **104**(6), 518 - 24 [cit. 2020-10-31]. ISSN 18610692. Dostupné z: doi:10.1007/s00392-015-0816-5

LEE, Allison J., Jennifer Hochman COHN a J. SUDHARMA RANASINGHE. Cardiac Output Assessed by Invasive and Minimally Invasive Techniques. *Anesthesiology Research* [online]. 2011, 1 - 17 [cit. 2020-12-15]. ISSN 16876962. Dostupné z: doi:10.1155/2011/475151

LIPŠ, M., J. KRUPIČKA, J. KOŘÍNEK a J. KUNSTÝŘ. Echokardiografie - měření srdečního výdeje u kriticky nemocných. *Anaesthesiology* [online]. 2015, **26**(4), 228 - 232 [cit. 2020-12-28]. ISSN 12142158.

MERZ, T. M., L. CIOCCARI, P. M. FREY, A. BLOCH, D. BERGER, B. ZANTE, S. M. JAKOB a J. TAKALA. Continual hemodynamic monitoring with a single-use transesophageal echocardiography probe in critically ill patients with shock: a randomized controlled clinical trial. *Intensive care medicine* [online]. 2019, **45**(8), 1093 - 1102 [cit. 2021-02-25]. ISSN 14321238. Dostupné z: doi:10.1007/s00134-019-05670-6

PINDER, Annie a Cally BURNAND. Central venous pressure and pulmonary artery pressure monitoring. *Anaesthesia* [online]. 2020 [cit. 2020-12-28]. ISSN 14720299. Dostupné z: doi:10.1016/j.mpaic.2020.11.014

ROZENTAL, Olga, Richard THALAPPILLIL, Robert S. WHITE, Shreyajit R. KUMAR a Christopher W. TAM. Hemodynamic Monitoring Options in COVID-19. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* [online]. 2020, **34**(12), 3488 - 3490 [cit. 2021-01-19]. ISSN 10530770. Dostupné z: doi:10.1053/j.jvca.2020.04.050

SAUGEL, Bernd, Karim KOUZ, Agnes S. MEIDERT, Leonie SCHULTE-UENTROP a Stefano ROMAGNOLI. How to measure blood pressure using an arterial catheter: a systematic 5 - step approach. *Critical Care* [online]. 2020, **24**(1) [cit. 2020-10-31]. ISSN 13648535. Dostupné z: doi:10.1186/s13054-020-02859-w

SCHMID, Kristin M., Michael J. LAURIA, Darren A. BRAUDE, Cameron S. CRANDALL a Jonathan L. MARINARO. Accuracy and Reliability of a Disposable Vascular Pressure Device for Arterial Pressure Monitoring in Critical Care Transport. *Air Medical Journal* [online]. 2020, **39**(5), 389 - 392 [cit. 2021-02-13]. ISSN 1067991X. Dostupné z: doi:10.1016/j.amj.2020.05.015

SJÖDIN, Carl, Soren SONDERGAARD a Lotta JOHANSSON. Variability in alignment of central venous pressure transducer to physiologic reference point in the intensive care unit—A descriptive and correlational study. *Australian Critical Care* [online]. 2019, **32**(3), 213 - 217 [cit. 2020-11-01]. ISSN 10367314. Dostupné z: doi:10.1016/j.aucc.2018.05.001

SUN, Jing, Hanjian CHEN, Jun ZHENG, Bin MAO, Shengmei ZHU a Jingyi FENG. Continuous blood pressure monitoring via non-invasive radial artery applanation tonometry and invasive arterial catheter demonstrates good agreement in patients undergoing colon carcinoma surgery. *Journal of Clinical Monitoring and Computing: Including a Specialty Section on Surgical Neuromonitoring* [online]. 2016, 1 - 7 [cit. 2020-10-31]. ISSN 13871307. Dostupné z: doi:10.1007/s10877-016-9967-9

TSANG, R. Hemodynamic monitoring in the cardiac intensive care unit. *Congenital heart disease* [online]. 2013, **8**(6), 568 - 75 [cit. 2021-02-26]. ISSN 17470803. Dostupné z: doi:10.1111/chd.12148

VALLÉE, Fabrice, Kuberan PUSHPARAJAH, Tarique HUSSAIN, Alexandre MEBAZAA, Dominique CHAPELLE, Étienne GAYAT a Radomír CHABINIOK. Monitoring of cardiovascular physiology augmented by a patient-specific biomechanical model during general anesthesia. A proof of concept study. *PLoS ONE* [online]. 2020, **15**(5), e0232830 [cit. 2020-11-23]. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0232830

XIONG, J., T. PAN, H. JIN, X. XIE, Y. WANG a D. WANG. A comparison of heparinised and non-heparinised normal saline solutions for maintaining the patency of arterial pressure measurement cannulae after heart surgery. *Journal of cardiothoracic surgery* [online]. 2019, **14**(1), 39 [cit. 2021-02-12]. ISSN 17498090. Dostupné z: doi:10.1186/s13019-019-0860-8

Seznam zkratek

ABP - arteriální krevní tlak

BMI - index tělesné hmotnosti

cm - centimetr

CO - srdeční výdej

CVP - centrální venózní tlak

CŽK - centrální žilní katetr

EKG - elektrokardiograf

j - jednotka

kg - kilogram

JIP - jednotka intenzivní péče

ml - mililitry

PAC - plicní arteriální katetr

PAP - tlak v plicní tepně

PiCCO - monitor pulzního obrysu srdečního výdeje

Např. – například

NIBP – neinvaziví krevního tlaku

TEE - transesofageální echokardiografie

TD - termodiluce

TTE - transtorakální echokardiografie