

Vybrané limitace užití variací tepového objemu a pulzního tlaku

Cenková B.^{1,2,3}, Šrámek V.^{2,3}, Suk P.^{1,2,3}

¹Mezinárodní centrum klinického výzkumu, Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně

²Anesteziologicko-resuscitační klinika, Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně

³Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, Brno

V současnosti je u pacientů s oběhovým selháním při tekutinové resuscitaci preferován koncept předpovědi tzv. fluid responsiveness (Fresp), tedy schopnosti odhadnout, zda srdce odpoví na tekutinovou výzvu zvýšením srdečního výdeje. Mezi hemodynamické parametry používané k předpovědi Fresp patří variace tepového objemu (stroke volume variation – SVV) a variace pulzního tlaku (pulse pressure variation – PPV), jejichž spolehlivost již potvrdila řada klinických studií. Především v prostředí intenzivní péče, ale také na operačním sále, se setkáváme s mnoha stavy, které činí interpretaci PPV/SVV nespolehlivou či zcela nemožnou. Prvním úskalím může být již volba monitorovací techniky, kdy mezi jednotlivými přístroji existují rozdíly jak ve spolehlivosti měření, tak ve výši ideálních prahových hodnot. Dobře prozkoumanými limitujícími faktory jsou vliv malého dechového objemu nebo nízká plicní compliance, které se ale dají efektivně překonat pomocí tzv. tidal volume challenge, tedy dočasným zvýšením dechového objemu. Naproti tomu spontánní dechová aktivita po užití PPV/SVV zcela vylučuje. Jasný závěr zatím nepanuje v otázce falešné positivity PPV/SVV u pacientů s pravostrannou srdeční dysfunkcí. V případě levostranné dysfunkce je prediktivní hodnota PPV/SVV zřejmě nižší než u zdravých jedinců, v klinické praxi je ale metoda stále využitelná. Studie zabývající se intraabdominální hypertenzí zatím přinášejí konfliktní výsledky, zdá se ale, že navýšování nitrobřišního tlaku vede také k nutnosti navýšení ideálních prahových hodnot. Také změna variace po podání tekutinové výzvy ($\Delta PPV/\Delta SVV$) se jeví slibným nástrojem k ověření účinku tekutinové terapie.

Klíčová slova: variace tepového objemu, variace pulzního tlaku, limitace, tekutinová resuscitace.

Selected limitations of the use of stroke volume and pulse pressure variations

The concept of prediction of fluid responsiveness – the ability of the heart to increase cardiac output in a response to a fluid bolus, has become a popular choice to guide fluid resuscitation in case of circulatory failure. Stroke volume variation (SVV) and pulse pressure variation (PPV) are dynamic parameters frequently used to predict fluid responsiveness that have been shown to be accurate in a number of studies. In the operating theatre, but mainly in the setting of intensive care unit, there are multiple factors that decrease PPV/SVV reliability or make their use even impossible. Firstly, the choice of monitoring technique can influence PPV/SVV values and optimal threshold values can differ among various devices. Low tidal volume and low pulmonary compliance are limiting factors that have been studied thoroughly and can be overcome with a tidal volume challenge – a temporary increase in tidal volume for the sole purpose of taking reliable PPV/SVV measurements. On the other hand, PPV/SVV evaluation remains useless in patients with spontaneous breathing activity. There are not enough data to draw conclusions in case of false-positivity of PPV/SVV in patients suffering from right ventricular failure. PPV/SVV performance is probably weakened, yet good enough, for clinical practice in patients with left ventricular failure. Studies on intraabdominal hypertension have reported conflicting results; nevertheless, the ideal threshold values tend to be higher during elevated intraabdominal pressure. The change in variation after fluid challenge ($\Delta PPV/\Delta SVV$) appears a useful tool to validate fluid administration efficacy.

Key words: stroke volume variation, pulse pressure variation, limitation, fluid responsiveness.

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

doc. MUDr. Pavel Suk, Ph.D., pavel.suk@fnusa.cz

Článek přijat redakcí: 11. 5. 2023; Článek přijat k tisku: 7. 8. 2023

Cit. zkr: Anest intenziv Med. 2023;34(3):110-115

Úvod

Umělá plicní ventilace způsobuje cyklické změny plnění obou srdečních komor. Nádech vede mechanismem zvýšení nitrohrudního tlaku ke snížení žilního návratu, a to má za následek snížení preloadu (předtížení) pravé srdeční komory (PK). Inspirium také způsobuje zvýšení afterloadu (dotížení) PK kompresí intraalveolárních cév při vzestupu transpulmonálního tlaku [1]. V konečném důsledku je na konci inspiria tepový objem PK na minimu. Předpokládá se, že hlavním mechanismem tohoto poklesu je právě redukce žilního návratu.

Pokles tepového objemu PK pak po určitém zpoždění vede ke sníženému plnění komory levé (LK). Pokud je LK preload responzivní (tedy operuje na strmé části Frankovy-Starlingovy křivky), pak tento pokles povede ke snížení tepového objemu. Výsledkem je snížení tepového objemu LK v expiriu.

Na základě těchto fyziologických principů bylo odvozeno, že za situace, kdy jsou obě komory preload responzivní a reagují tak na podání tekutiny vzestupem tepového objemu, bude při umělé plicní ventilaci během dechového cyklu docházet k významné variaci tepového objemu LK [2].

Variace tepového objemu a pulzního tlaku

Pulzní tlak (rozdíl systolického a diastolického tlaku) je přímo úměrný tepovému objemu LK a nepřímo úměrný compliance (poddajnosti) stěny aorty, která se ale během dechového cyklu nemění. Variace pulzního tlaku (pulse pressure variation – PPV) byla první dynamickou metodou předpovídající, zda podání tekutiny zvýší srdeční výdej (fluid responsiveness – Fresp) zavedenou do klinické praxe. Je současně nejčastěji užívaným parametrem Fresp a do dnešního dne se jí zabývalo také nejvíce studií.

Původně se PPV počítala manuálně jako podíl rozdílu maximálních a minimálních hodnot pulzního tlaku v průběhu dechového cyklu a průměru těchto hodnot. Dnes již existuje celá řada přístrojů využívajících vlastní algoritmy, které zobrazují PPV kontinuálně v reálném čase. Některé monitory na základě analýzy křivky arteriálního tlaku stanovují hodnotu variace tepového objemu (stroke volume variation – SVV).

Tyto dynamické parametry se v průběhu let ukázaly být spolehlivými prediktory Fresp a začaly tak v klinické praxi nahrazovat parametry statické (např. centrální žilní tlak – CVP nebo tlak v zaklínění), jejichž výpovědní hodnota byla opakovaně zpochybněna řadou klinických studií [3].

V metaanalýze z roku 2009 [4] zahrnující studie jak z prostředí JIP, tak operačních sálů předpovídaly SVV a PPV Fresp s plochou pod receiver operating characteristic (ROC) křivkou (AUROC) 0,94 a 0,84 a prahovými hodnotami 12,5 a 11,6 %. AUROC je parametr hodnotící spolehlivost diagnostického testu, který nabývá hodnoty od 0 do 1 – vyšší hodnota znamená spolehlivější test. Identického výsledku dosáhla PPV při analýze 22 studií zahrnujících 807 pacientů hospitalizovaných na JIP [5]. Využití dynamických parametrů Fresp při tekutinové resuscitaci pak dle metaanalýzy z roku 2017 vedlo u populace kriticky nemocných ke zlepšení klinických výsledků [6].

Limitace PPV/SVV

Typické situace a klinické stavy, při kterých PPV/SVV nelze při hodnocení Fresp použít, se dají shrnout do anglického akronymu LIMITS [7]: Low

heart/respiratory rate ratio (nízký poměr srdeční a dechové frekvence, HR/RR < 3,6 – vede k falešné negativitě), Irregular heartbeats (nepravidelný srdeční rytmus, falešná pozitivita), Mechanical ventilation with low tidal volume (umělá plicní ventilace s nízkým dechovým objemem, falešná negativita), Increased abdominal pressure (intraabdominální hypertenze, falešná pozitivita), Thorax open (otevřený hrudník, falešná negativita) a Spontaneous breathing (spontánní dechová aktivita, falešná pozitivita).

S celou řadou těchto faktorů se můžeme setkat právě na jednotkách intenzivní péče. Z tohoto důvodu se lékaři začali zabývat tím, jak často je možné PPV/SVV v indikaci tekutinové resuscitace využít. Doposud existuje pouze malé množství studií, které se specificky zaměřily na možnost aplikovatelnosti PPV u populace kriticky nemocných [8–9]. Tangiuchi et al. [10] v přehledovém článku analyzovali 4 studie orientované na pacienty na JIP – ve 3 z nich podmínky využití PPV splnilo pouze 1,9–3,8 % pacientů. V té poslední, která vznikla v českém prostředí, splňovalo podmínky 42,4 % pacientů [11]. Autoři si tuto diskrepanci vysvětlují faktem, že se jednalo o úzce vybranou skupinu pacientů v sepsi, po traumatu/operaci či po srdeční zástavě. I při optimistickém pohledu jsou ale PPV/SVV využitelné jen u menšiny kriticky nemocných. Celková anestezie zahrnující relaxaci pacienta a umělou plicní ventilaci definovanými objemy naproti tomu představuje téměř ideální podmínky pro hodnocení PPV/SVV a procento nemocných, u kterých tyto parametry můžeme využít, je významně vyšší.

Dechový objem a nízká plicní compliance

Důvodů, proč je implementace tekutinové strategie založené na hodnocení PPV v prostředí intenzivní péče problematická, je vícero. Obecně je při hodnocení PPV doporučováno ventilovat pacienty s dechovým objemem alespoň 8 ml/kg ideální tělesné hmotnosti (ideal body weight – IBW) [12]. V posledních letech se nicméně trend posouvá k tzv. protektivní ventilaci nižšími dechovými objemy (typicky 6 ml/kg IBW), a to jak u pacientů s plicní patologií, tak i bez ní [13–14]. Za těchto podmínek nejsou změny v nitrohrudních tlacích natolik signifikantní, aby docházelo ke změnám preloadu komor.

Ventilace nízkými dechovými objemy ale nemusí být nutně nepříkonatelnou překážkou. Řada studií testovala koncept tzv. tidal volume challenge (TVC). Test spočívá v přechodném navýšení dechových objemů (tidal volume, V_t) ze 6 na 8 ml/kg IBW např. na 1 minutu pro potřeby měření [15–17]. V pilotní studii mělo PPV při ventilaci nízkými dechovými objemy dle očekávání omezenou schopnost predikovat Fresp, po jejich navýšení se pak výpovědní hodnota významně zlepšila (AUROC 0,69 vs. 0,9) [15]. Za zmínku stojí, že u respondérů došlo po TVC k signifikantnímu nárůstu PPV (ΔPPV_{6-8}) a tento parametr byl schopen rozlišit respondéry a non-respondéry s AUROC 0,99 při optimální prahové hodnotě 3 %. Dle recentní metaanalýzy, do které bylo zařazeno celkem 10 studií a 429 pacientů, je prediktivní hodnota ΔPPV_{6-8} po použití TVC signifikantně vyšší než při ventilaci malými dechovými objemy (průměrná AUROC 0,96 oproti AUROC 0,69) [18]. Praktické využití omezuje, že ideální prahové hodnoty ΔPPV_{6-8} se pohybovaly mezi 1 a 3,5 % (medián 2 %).

Situace se dále komplikuje zejména u pacientů s ARDS. Kromě malých dechových objemů je u nich problémem také nízká plicní compliance, při které se tlak v dýchacích cestách hůře přenáší na nit-

rohrudní struktury. Vztah mezi compliance respiračního systému (C_{RS}) a schopností PPV relevantně předpovědět Fresp studovali Monnet et al. [19]. Dle jejich zjištění mezi nimi existuje nepřímá úměra – pokud je $C_{RS} \leq 30$ ml/cmH₂O, pak PPV ztrácí svou výpovědní hodnotu (AUROC 0,69 vs. 0,98 při $C_{RS} > 30$ ml/cmH₂O). Koncept TVC byl testován i u této skupiny nemocných, kde po navýšení dechových objemů na 8 ml/kg IBW došlo ke zlepšení prediktivní schopnosti PPV (AUROC 0,90 oproti 0,69 při V_t 6 ml/kg IBW). Dobrou prediktivní hodnotu vykazoval shodně s výše jmenovanou studií také parametr ΔPPV_{6-8} (AUROC 0,9 při prahové hodnotě 2 %) [20].

Otázkou úzce související s pacienty s ARDS je použití PPV v pronační poloze. Dle studií z posledních let zůstává i v tomto případě hodnocení validní s výjimkou morbidně obézních pacientů a pacientů s $C_{RS} \leq 30$ ml/cmH₂O [21–22]. Naopak TVC k překonání limitace nízkými dechovými objemy (ΔPPV_{6-8}) v pronační poloze zřejmě nefunguje [18].

Dysfunkce pravé komory

Při umělé plicní ventilaci dochází během inspiria ke kompresi intraalveolárních cév, což má za následek zvýšení afterloadu PK. Selhávající PK je citlivější k vyššímu afterloadu nežli nižšímu preloadu, pokles tepového objemu a z něj vyplývající vysoké hodnoty PPV tak vypovídají spíše o závislosti PK na afterloadu. Proto v případě dysfunkce PK mohou být hodnoty PPV/SVV falešně pozitivní a nejsou známkou Fresp. Tímto tématem se doposud zabývala jen hrstka studií. V první z roku 2009 [23] autoři zkoumali, zda lze skutečnou a falešnou pozitivitu u kriticky nemocných pacientů rozlišit pomocí tkáňové dopplerovské echokardiografie, přesněji pak měřením jednoho z funkčních parametrů výkonnosti PK – rychlosti pohybu anulu trikuspidální chlopně (peak velocity of tricuspid annular motion – Sta). Ve skupině pacientů s PPV vyšší než 12 % byla hodnota Sta schopna rozlišit budoucí respondéry a non-respondéry se senzitivitou 91 % a specificitou 83 %. Za zmínku také stojí, že zatímco ve skupině non-respondérů nevedl bolus koloidního roztoku ke změně hodnoty PPV (ΔPPV), u respondérů došlo k jejímu významnému poklesu.

Nízkou prediktivní hodnotu pro Fresp (AUROC 0,55) mělo také měření PPV u pacientů po kardiokirurgickém výkonu s prokázanou plicní hypertenzí [24]. Podobně recentní práce hodnotila výskyt pravostranného selhání u pacientů v septickém šoku a jeho vliv na Fresp [25]. Pravostranné srdeční selhání definované jako kombinace dilatace PK (poměr end-diastolické plochy PK a LK $\geq 0,6$) a žilní kongesce (CVP ≥ 8 mmHg) bylo diagnostikováno u 42 % pacientů. Bolus tekutiny byl nahrazen manévrem pasivního zvednutí dolních končetin (passive leg raising, PLR). Čím více byla PK dilatovaná, tím nižší byla pravděpodobnost, že pacient přes vysoké hodnoty PPV pozitivně odpoví na podání tekutiny.

Otázku falešné positivity PPV u pacientů s pravostranným selháváním však pro relativní nedostatek důkazů zatím nelze jednoznačně uzavřít [26]. Zavrhnout měření PPV u této skupiny úplně by však bylo krátkozraké. I u nich by se zejména parametr ΔPPV v budoucnu mohl ukázat jako cenný pomocník ve stanovení Fresp.

Intraabdominální hypertenze

Nitrobřišní hypertenze (intraabdominal hypertension, IAH) je častou komplikací u kriticky nemocných pacientů. Vedle dalších negativních dopadů

může u této konkrétní skupiny neindikované podání tekutiny zhoršit otok nitrobřišních orgánů a dále navýšit nitrobřišní tlak (intraabdominal pressure, IAP).

Experimentální studie prokázaly, že narůstající IAH zvyšuje také hodnoty PPV/SVV. Renner et al. [27] zkoumali vliv IAH na prasečím modelu – měřili PPV a SVV u 14 anestetizovaných prasat během normovolemie a při zavedeném pneumoperitoneu (IAP 25 mmHg) před a po podání bolusu tekutin. V tomto pokusu si PPV zachovala svou prediktivní hodnotu, došlo ale k nárůstu ideální prahové hodnoty z 11,5 % (při průměrném IAP 7 mmHg) na 20,5 % (při IAP 26 mmHg). SVV získaná analýzou arteriální křivky naopak nebyla spolehlivá pro predikci Fresp. Podobných výsledků dosáhli Jacques et al. [28], když zkombinovali vliv IAH (navýšení IAP pomocí bindy až na 30 mmHg) s hypovolemií (navozenou venepunkcí) následně korigovanou podáním bolusu tekutiny. V tomto případě si PPV i SVV zachovaly schopnost spolehlivě určit Fresp, opět s výrazně vyšší prahovou hodnotou (67 % pro SVV a 41 % pro PPV). K nárůstu PPV a SVV došlo při zavedení IAH i ve skupině non-respondérů. Autoři proto spekulují, že za část nárůstu těchto parametrů může být zodpovědný i vyšší afterload PK. Vyšší postavení bránice zapříčiněné vzestupem IAP vede ke snížení funkční reziduální kapacity, a tím i plicní compliance. K ventilaci identickým dechovým objemem je pak nutno použít vyšší inspirační tlaky, současně roste transpulmonální tlak, a tím pádem i afterload PK [29].

Extrapolovat tato zjištění na populaci kriticky nemocných lze pouze s velkou opatrností. Kromě zjevného faktu, že se jedná o studie na prasečích modelech, bylo užito ventilace s vysokými dechovými objemy (až 14 ml/kg), která výrazně zvyšuje již klidovou (základní) PPV. Také prahová hodnota PPV 41 % nemá klinickou relevanci, protože pravděpodobně dochází ke graduálnímu vzestupu prahových hodnot PPV s růstem intraabdominálního tlaku.

Specifickou skupinou pacientů z prostředí operačních sálů, u které se nabízí riziko ovlivnění PPV/SVV vysokým intraabdominálním tlakem, jsou operanti podstupující laparoskopické výkony. Několik studií zkoumalo vliv kapnoperitonea na PPV/SVV při laparoskopických břišních výkonech, aniž by hodnotily spolehlivost predikce Fresp. První práce prokázala vzestup hodnot SVV po zavedení pneumoperitonea [30], druhá dokonce jejich progresivní růst při postupném navyšování IAP (5, 10 a 15 mmHg) [31]. Naopak ve třetí práci kapnoperitoneum (při IAP 10–12 mmHg) nevedlo k nárůstu PPV. Přesto Trendelenburgova poloha jako forma autotransfuze při zavedeném kapnoperitoneu způsobila pokles hodnot PPV.

Předmětem dále uvedených prací pak byla schopnost PPV/SVV spolehlivě predikovat Fresp při laparoskopii. Høiseth et al. [32] publikovali, že zavedení pneumoperitonea (10–12 mmHg) nevedlo ke změně PPV ani SVV a oba parametry byly za těchto podmínek vyloženy špatnými či průměrnými prediktory Fresp (AUROC 0,54 a 0,74 resp.). Nižší senzitivitu zejména u PPV zjistili také autoři studie, ve které měřili PPV a SVV u pacientů se zavedeným kapnoperitoneem pomocí LiDCOrapid (AUROC 0,67 a 0,8) [33].

V kontrastu s těmito výsledky jsou zjištění J. H. China et al. [34], kteří testovali PPV a SVV jako prediktory Fresp u pacientů podstupujících robotem asistovanou laparoskopickou prostatektomií – tedy kombinaci kapnoperitonea a strmé Trendelenburgovy polohy. Po zavedení kapnoperitonea došlo ke zvýšení hodnot PPV i SVV, tyto opět poklesly po uvedení pacienta do Trendelenburgovy polohy. Přesto PPV a SVV

poměrně spolehlivě predikovaly odpověď na tekutinu (AUROC 0,87 pro PPV a 0,8 pro SVV). Podobných výsledků dosáhli také autoři studie zabývající se vlivem kapnoperitonea a Trendelenburgovy polohy u pacientů podstupujících laparoskopický resekční výkon pro karcinom žaludku a tlustého střeva. PPV i SVV v této studii spolehlivě predikovaly Fresp (AUROC 0,85 a 0,86 resp.), v případě uvedení pacienta do Trendelenburgovy polohy pak s nižší ideální prahovou hodnotou (7,5 % oproti 10,5 % vleže, hodnoty pro PPV a SVV obdobné) [35]. Spolehlivým prediktorem Fresp při kapnoperitoneu se ukázala být také SVV stanovená měřením průtoku v aortě pomocí dopplerovské metody [36] a dobrou výpovědní hodnotu měla SVV u pacientů v anti-Trendelenburgově poloze při cholecystektomii [37].

Souhrnně se tématem recentně zabýval pouze jeden přehledový článek [38]. Autoři zařadili 7 studií (včetně výše jmenovaných). Za dobrý prediktor Fresp označili parametr tehdy, pokud AUROC dosáhla hodnoty vyšší než 0,80. U SVV tomu tak bylo v 5 ze 7 studií, u PPV pouze ve 2 ze 6 studií, ve kterých byla AUROC pro PPV uvedena. Prahové hodnoty se mezi studiemi pohybovaly v rozmezí 9,5 až 14 % pro SVV a 7,5 až 15,5 % pro PPV. Autoři sami v závěru zdůrazňují, že studií na toto téma neexistuje mnoho a významně se rozcházejí v metodologii. Heterogenita panuje jak ve vlastní definici Fresp, tak ve zkoumané intervenci (použity byly různé bolusy krystaloidů či koloidů). K měření PPV/SVV a poté ke stanovení tepového objemu či srdečního výdeje je využívána řada monitorů a metod. Z těchto důvodů nelze zatím v této problematice vyvozovat jednoznačné závěry.

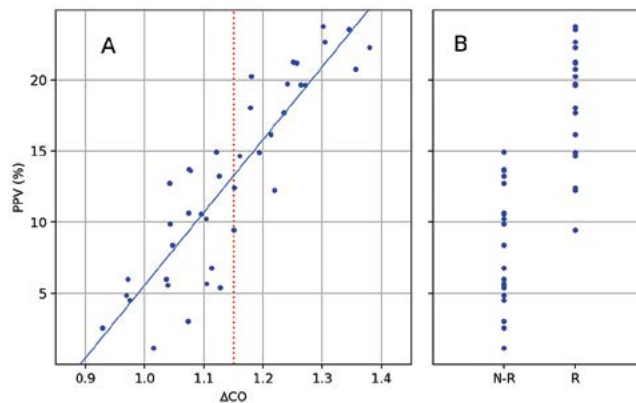
Koncept šedé zóny

Ideálně vyšší hodnoty PPV/SVV předpovídají vyšší vzestup srdečního výdeje (obrázek 1a), hodnoty kolem prahu pro Fresp (obvykle vzestup CO o 10 nebo 15 %) jsou nicméně striktně rozděleny mezi respondéry a non-respondéry. Mezi těmito 2 skupinami ale dochází k určitému překryvu PPV/SVV (obrázek 1 b). Proto někteří autoři začali přicházet s konceptem tzv. šedé zóny (grey zone), která navrhuje existenci 2 prahových hodnot – spodní hranice, pod kterou 90 % pacientů s jistotou na tekutinovou výzvu zvýšením srdečního výdeje neodpoví, a horní hranice, která naopak s 90% přesností určí respondéry. Mezi těmito hodnotami se pak nachází rozmezí, ve kterém nelze učinit jednoznačný závěr. O kvantifikaci šedé zóny se pokusili ve svých pracích Biais a Cannesson et al. [39–40]. Biais et al. se zaměřili na ventilované pacienty na jednotce intenzivní péče a za šedou zónu označili rozmezí PPV 4 až 17 %. Druhá jmenovaná studie proběhla u pacientů v anestezii na operačních sálech – zde byly za šedou zónu označeny hodnoty PPV 9 až 13 %. V obou studiích se ale autoři dopustili řady metodologických chyb, v jejichž důsledku šíří šedé zóny zřejmě arteficiálně nadhodnotili [7].

DeltaPPV/SVV

DeltaPPV/SVV (ΔPPV , ΔSVV) je parametr kvantifikující změnu PPV či SVV vyjádřenou v procentních bodech v návaznosti na určitou klinickou intervenci. Již jsme ji zmínili výše v souvislosti s hodnocením PPV při dysfunkci PK, a také u tzv. tidal volume challenge, tedy prostředku k překonání limitace nízkými dechovými objemy, kdy ΔPPV_{6-8} vyvolaná navýšením V_t z 6 na 8 ml/kg IBW předpovídá Fresp s excelentní spolehlivostí (AUROC 0,99) při prahové hodnotě 3 %.

Obr. 1. Modelový příklad závislosti změn srdečního výdeje po podání tekutinové výzvy (ΔCO) a hodnot variace pulzního tlaku (PPV) před podáním tekutiny (část A). Tečková čára odděluje respondéry (R, definované $\Delta CO \geq 15\%$) a non-respondéry (N-R), nepřerušovaná čára zobrazuje přímku lineární regrese. Část B zobrazuje zjednodušený graf, kde na ose x jsou místo ΔCO pouze kategorie N-R a R. Rozsah hodnot na ose y, kde se obě skupiny významně překrývají, odpovídá šedé zóně



Pro hodnocení efektu tekutinové výzvy lze využít ΔPPV – tj. pokles PPV po podání bolusu tekutiny. U pacientů v celkové anestezii se prokázalo ΔPPV jako spolehlivý marker Fresp (AUROC 0,89 při prahové hodnotě 3 %) [41]. Autoři studie na základě těchto zjištění navrhli koncept otestování Fresp pomocí minibolusu tekutiny, který minimalizuje případnou hypervolemii. Hypotézu poté otestovali Mallat et al. [42] u pacientů ventilovaných nízkými dechovými objemy – SVV a PPV měřili před a po podání 100 ml koloidu, poté podali infuzi dalších 400 ml krystaloidu a hodnotili Fresp. ΔPPV_{100} a ΔSVV_{100} byly opět výbornými prediktory Fresp (AUROC 0,91 a 0,92 resp., prahová hodnota 2 % v obou případech). Parametr ΔPPV byl na podobném principu testován i po PLR, opět s povzbudivými výsledky (AUROC 0,92, prahová hodnota poklesu PPV $\geq 2\%$) [43].

Rozdíly ve stanovení PPV/SVV různými přístroji

V dnešní době existuje řada přístrojů, které využívají vlastní algoritmy k výpočtu PPV/SVV a jsou schopny parametry zobrazit v reálném čase. Použité algoritmy nejsou veřejně dostupné, není tedy jisté, zda lze měření různými monitorovacími systémy mezi sebou volně zaměňovat a zda neexistují rozdíly například ve spolehlivosti měření či ideálních prahových hodnotách PPV/SVV pro jednotlivé monitory. Studií na toto téma opět není mnoho, nejkomplexněji se jím zabývala práce srovnávající 4 hemodynamické monitory u pacientů na JIP po kardiochirurgickém výkonu [44] – PiCCOplus (SVV, PPV), LiDCOrapid (SVV, PPV), FloTrac/Vigileo (SVV) a Philips Intellivue (PPV). Optimální prahové hodnoty se mezi přístroji významně lišily (od 9,5 do 16,5 %), prediktivní hodnoty dle AUROC se pak pohybovaly v širokém rozmezí mezi 0,78 a 0,92.

Na operačním sále byly mezi sebou srovnávány přístroje FloTrac/Vigileo a PiCCO (SVV) [45]. Spolehlivost přístrojů při určení Fresp vyšla srovnatelně, rozcházele se ale v ideálních prahových hodnotách (9,6 vs. 12,1 %). Naproti tomu téměř identicky jak v predikci Fresp, tak co se týče výše ideální prahové hodnoty vyšla perioperační měření monitorem Intellivue MP 70 (PPV), FloTrac/Vigileo (SVV) a off-line výpočet [46]. Na našem pracovišti jsme během velkých břišních výkonů srovnávali 3 hemodynamické monitory – Carescape B650 (měřící PPV), LiDCO Rapid (PPV, SVV) a FloTrac/

Vigileo (SVV) s off-line vypočtenou PPV (nepublikovaná data). Všechny monitory využívaly k analýze arteriální křivku získanou ze stejného místa. Prediktivní schopnost pro Fresp byla mezi přístroji srovnatelná (AUROC 0,71–0,76), přestože se ideální prahové hodnoty významně odlišovaly (7,5–13,9 %). Hodnoty variací naměřené přístrojem LiDCOrapid byly vyšší, než tomu bylo u ostatních monitorů. Zjištění ale nelze generalizovat, protože v předchozích studiích byly naopak hodnoty naměřené přístrojem FloTrac/Vigileo vyšší než u LiDCOplus [44, 47].

Dysfunkce levé komory

Vliv umělé plicní ventilace na funkci LK lze vysvětlit modelem tlakové komory v tlakové komoře. Vzestup nitrohruďního tlaku v inspiriu se přenáší i na LK a vede ke snížení jejího transmuralního tlaku. Při systolické dysfunkci LK by měl tento fenomén snížením afterloadu vést ke zlepšení tepového objemu LK v inspiriu a tím zvýšit PPV/SVV. V důsledku oploštění Frankovy-Starlingovy křivky je současně oslabena schopnost srdce reagovat na změny preloadu. Z tohoto důvodu můžeme naopak očekávat, že hodnoty PPV/SVV budou nižší, než by tomu bylo u zdravého jedince. V experimentu na psech při farmakologicky navozeném levostranném selhání opakovaně docházelo k poklesu PPV i SVV oproti základním hodnotám [48–49]. I v klinické studii byla SVV u pacientů s ejekční frakcí levé komory (EF LK) < 35 % snížena. Prediktivní hodnota SVV pro Fresp byla omezená v porovnání s kontrolní skupinou s EF LK > 50 % (AUROC 0,78 vs. 0,88) [50]. Již v této studii z roku 2003 autoři pozorovali, že Δ SVV (změna SVV po podání tekutiny) těsně korelovala se změnou srdečního indexu.

PPV a spontánní ventilace

Mezi základní principy péče o kriticky nemocné pacienty dnes řadíme také minimalizaci sedativní medikace. Častěji se tak setkáváme s pacienty se zachovanou spontánní dechovou aktivitou, u nichž jsou však změny v nitrohruďních tlacích v rámci dechového cyklu nepravidelné, a proto PPV/SVV nelze při predikci odpovědi na bolus tekutiny použít [51–53]. Problém limitace PPV/SVV spontánní dechovou aktivitou je nicméně i dnes předmětem klinických studií a lékaři hledají způsoby, jakými tuto překážku obejít. V roce 2021 francouzští autoři mimo jiné otestovali koncept TVC u pacientů na umělé plicní ventilaci se zachovanou spontánní dechovou aktivitou. Bolus tekutiny byl v tomto experimentu nahrazen manévrem PLR. Dle očekávání PPV nebylo schopno validně určit fluid respondéry. Vzestup PPV (Δ PPV) během TVC vykazoval lepší, nicméně stále spíše

průměrnou výpovědní hodnotu s AUROC 0,71 při optimální prahové hodnotě 2 %.

Nitrohruďní výkony

Při operacích plic je narušena integrita pleurálního prostoru a obvykle i selektivně ventilována pouze jedna plic. To výrazně ovlivňuje interakce srdce–plic, na kterých se využití PPV/SVV zakládá. Recentní metaanalýza prací hodnotících Fresp během selektivní ventilace jedné plic stanovila průměrnou AUROC 0,68 pro SVV a 0,60 pro PPV [54]. Ještě větším problémem se jeví optimální prahová hodnota, která se pro SVV pohybovala v širokém rozmezí 3,5 až 10,5 % [55]. Nízká AUROC a heterogenní optimální prahová hodnota neumožňují prakticky PPV/SVV u této skupiny nemocných využít. Nízká prediktivní hodnota PPV/SVV může po rozsáhlých výkonech přetrvávat i v pooperačním období při standardní ventilaci [56].

Odlišná je situace u kardiocirurgických pacientů, kde nedochází k selektivní ventilaci jedné plic. Průměrná AUROC pro SVV dosahovala 0,8 s optimální prahovou hodnotou v rozpětí 10–13 % [55]. Na nižší než obvyklé predikční schopnosti se kromě samotného výkonu může podílet i dysfunkce LK nebo PK, které jsou u kardiocirurgických pacientů běžné.

Závěr

Dynamické parametry PPV a SVV jsou při splnění podmínek správného užití velmi spolehlivými prediktory Fresp a jejich zařazení do strategie tekutinové resuscitace vede ke zlepšení klinických výsledků jak v prostředí operačního sálu, tak na jednotkách intenzivní péče. Existuje však řada limitujících faktorů, které musíme znát, abychom byli schopni určit ty pacienty, u kterých tyto metody hodnocení Fresp můžeme bezpečně použít. Některé z těchto limitací jako například ventilace nízkými dechovými objemy jsou již dobře prostudované a byli jsme schopni najít způsoby, jak je efektivně obejít (tidal volume challenge). Další (pravostranné srdeční selhání, nitrobrišní hypertenze...) ale zůstávají v klinické praxi ve formě nezodpovězených otázek, u kterých čekáme na robustní data z klinických studií. Relativně novým a do budoucna zajímavým konceptem je hodnocení změny variací po podání tekutinové výzvy (Δ PPV/ Δ SVV), který se ukazuje jako slibný nástroj k ověření účinku tekutinové výzvy.

PROHLÁŠENÍ AUTORŮ: Prohlášení o původnosti: Práce je původní a nebyla publikována ani není zaslána k recenznímu řízení do jiného média. **Střet zájmů:** Autoři prohlašují, že nemají střet zájmů v souvislosti s tématem práce. **Podíl autorů:** Všichni autoři rukopis četli, souhlasí s jeho zněním a zasláním do redakce časopisu Anesteziologie a intenzivní medicína. Autor manuskriptu je B.C. Korekce textu provedli P.S. a V.Š. **Financování:** Podpořeno grantem České společnosti intenzivní medicíny. **Poděkování:** N/A. Registrace: N/A. Projednání etickou komisí: N/A

LITERATURA

- Grübler MR, Wigger O, Berger D, Blöchliger S. Basic concepts of heart-lung interactions during mechanical ventilation. *Swiss Med Wkly*. 2017;147:w14491.
- Mahmood SS, Pinsky MR. Heart-lung interactions during mechanical ventilation: the basics. *Ann Transl Med*. 2018;6(18):349.
- Marik PE, Baram M, Vahid B. Does central venous pressure predict fluid responsiveness? A systematic review of the literature and the tale of seven mares. *Chest*. 2008;134(1):172-178.
- Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, Hirani A. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic re-

view of the literature. *Crit Care Med*. 2009;37(9):2642-2647.

- Yang X, Du B. Does pulse pressure variation predict fluid responsiveness in critically ill patients? A systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2014;18(6):650.
- Bednarczyk JM, Fridfinnson JA, Kumar A, Blanchard L, Rabbani R, Bell D, et al. Incorporating Dynamic Assessment of Fluid Responsiveness Into Goal-Directed Therapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med*. 2017;45(9):1538-1545.
- Michard F, Chemla D, Teboul JL. Applicability of pulse pressure variation: how many shades of grey? *Crit Care*. 2015;19(1):144.

8. Mahjoub Y, Lejeune V, Muller L, Perbet S, Zieleskiewicz L, Bart F, et al. Evaluation of pulse pressure variation validity criteria in critically ill patients: a prospective observational multicentre point-prevalence study. *Br J Anaesth*. 2014;112(4):681-685.
9. Fischer MO, Mahjoub Y, Boisselier C, Tavernier B, Dupont H, Leone M, et al. Arterial pulse pressure variation suitability in critical care: A French national survey. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2015;34(1):23-28.
10. Taniguchi LU, Zampieri FG, Nassar AP. Applicability of respiratory variations in stroke volume and its surrogates for dynamic fluid responsiveness prediction in critically ill patients: a systematic review of the prevalence of required conditions. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2017;29(1):70-76.
11. Benes J, Zatloukal J, Klecka J, Simanova A, Haidingerova L, Pradl R, et al. Respiratory induced dynamic variations of stroke volume and its surrogates as predictors of fluid responsiveness: applicability in the early stages of specific critical states. *J Clin Monit Comput*. 2014;28(3):225-231.
12. De Backer D, Heenen S, Piagnerelli M, Koch M, Vincent JL, et al. Pulse pressure variations to predict fluid responsiveness: influence of tidal volume. *Intensive Care Med*. 2005;31(4):517-523.
13. Serpa Neto A, Cardoso OS, Manetta JA, Pereira VGM, Esposito DC, Pasqualucci MdOP, et al. Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. *JAMA*. 2012;308(16):1651-1659.
14. Fan E, Brodie D, Slutsky AS. Acute Respiratory Distress Syndrome: Advances in Diagnosis and Treatment. *JAMA*. 2018;319(7):698-710.
15. Myatra SN, Prabu NR, Divatia JV, Monnet X, Kulkarni AP, Teboul JL, et al. The Changes in Pulse Pressure Variation or Stroke Volume Variation After a 'Tidal Volume Challenge' Reliably Predict Fluid Responsiveness During Low Tidal Volume Ventilation. *Crit Care Med*. 2017;45(3):415-421.
16. Messina A, Montagnini C, Cammarota G, De Rosa S, Giuliani F, Muratore L, et al. Tidal volume challenge to predict fluid responsiveness in the operating room: An observational study. *Eur J Anaesthesiol*. 2019;36(8):583-591.
17. Jun JH, Chung RK, Baik HJ, Chung MH, Hyeon JS, Lee YG, et al. The tidal volume challenge improves the reliability of dynamic preload indices during robot-assisted laparoscopic surgery in the Trendelenburg position with lung-protective ventilation. *BMC Anesthesiol*. 2019;19(1):142.
18. Wang X, Liu S, Gao J, Zhang Y, Huang T. Does tidal volume challenge improve the feasibility of pulse pressure variation in patients mechanically ventilated at low tidal volumes? A systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2023;27(1):45.
19. Monnet X, Bleibtreu A, Ferre A, Dres M, Gharbi R, Richard CH, et al. Passive leg-raising and end-expiratory occlusion tests perform better than pulse pressure variation in patients with low respiratory system compliance. *Crit Care Med*. 2012;40(1):152-157.
20. Xu Y, Guo J, Wu Q, Chen J. Efficacy of using tidal volume challenge to improve the reliability of pulse pressure variation reduced in low tidal volume ventilated critically ill patients with decreased respiratory system compliance. *BMC Anesthesiol*. 2022;22(1):137.
21. Ali A, Abdullah T, Sabanci PA, Dogan L, Orhan-Sungur M, Akinici IO. Comparison of ability of pulse pressure variation to predict fluid responsiveness in prone and supine position: an observational study. *J Clin Monit Comput*. 2019;33(4):573-580.
22. Kim DH, Shin S, Kim JY, Kim SH, Jo M, Choi YS. Pulse pressure variation and pleth variability index as predictors of fluid responsiveness in patients undergoing spinal surgery in the prone position. *Ther Clin Risk Manag*. 2018;14:1175-1183.
23. Mahjoub Y, Pila C, Friggeri A, Zogheib E, Loboie E, Tinturier F. Assessing fluid responsiveness in critically ill patients: False-positive pulse pressure variation is detected by Doppler echocardiographic evaluation of the right ventricle. *Crit Care Med*. 2009;37(9):2570-2575.
24. Wyler von Ballmoos M, Takala J, Roeck M, Porta F, Tueller D, Ganter CC, et al. Pulse-pressure variation and hemodynamic response in patients with elevated pulmonary artery pressure: a clinical study. *Crit Care*. 2010;14(3):R111.
25. Vieillard-Baron A, Prigent A, Repesse X, Goudelin M, Prat G, Evrard B, et al. Right ventricular failure in septic shock: characterization, incidence and impact on fluid responsiveness. *Crit Care*. 2020;24(1):630.
26. Teboul JL, Monnet X, Chemla D, Michard F. Arterial Pulse Pressure Variation with Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;199(1):22-31.
27. Renner J, Gruenewald M, Quaden R, Hanss R, Meybohm P, Steinfath M et al. Influence of increased intra-abdominal pressure on fluid responsiveness predicted by pulse pressure variation and stroke volume variation in a porcine model. *Crit Care Med*. 2009;37(2):650-658.
28. Jacques D, Bendjelid K, Duperret S, Colling J, Piriou V, Viale JP. Pulse pressure variation and stroke volume variation during increased intra-abdominal pressure: an experimental study. *Crit Care*. 2011;15(1):R33.
29. Alfonsi P, Vieillard-Baron A, Coggia M, Guignard B, Goeau-Brissonniere O, Jardin F, et al. Cardiac function during intraperitoneal CO₂ insufflation for aortic surgery: a transesophageal echocardiographic study. *Anesth Analg*. 2006;102(5):1304-1310.
30. Wajima Z, Shiga T, Imanaga K. Pneumoperitoneum affects stroke volume variation in humans. *J Anesth*. 2015;29(4):508-514.
31. Liu F, Zhu S, Ji Q, Li W, Liu J. The impact of intra-abdominal pressure on the stroke volume variation and plethysmographic variability index in patients undergoing laparoscopic cholecystectomy. *Biosci Trends*. 2015;9(2):129-133.
32. Høiseth LØ, Hoff IE, Myre K, Landsverk SA, Kirkeboen KA. Dynamic variables of fluid responsiveness during pneumoperitoneum and laparoscopic surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2012;56(6):777-786.
33. Zlicar M, Novak-Jankovic V, Blagus R, Cecconi M. Predictive values of pulse pressure variation and stroke volume variation for fluid responsiveness in patients with pneumoperitoneum. *J Clin Monit Comput*. 2018;32(5):825-832.
34. Chin JH, Lee EH, Hwang GS, Choi WJ. Prediction of fluid responsiveness using dynamic preload indices in patients undergoing robot-assisted surgery with pneumoperitoneum in the Trendelenburg position. *Anaesth Intensive Care*. 2013;41(4):515-522.
35. Liu X, Fu Q, Mi W, Liu H, Zhang H, Wang P, et al. Pulse pressure variation and stroke volume variation predict fluid responsiveness in mechanically ventilated patients experiencing intra-abdominal hypertension. *Biosci Trends*. 2013;7(2):101-108.
36. Guinot PG, de Broca B, Bernard E, Arab OA, Lorne E, Dupont H, et al. Respiratory stroke volume variation assessed by oesophageal Doppler monitoring predicts fluid responsiveness during laparoscopy. *Br J Anaesth*. 2014;112(4):660-664.
37. Moon EJ, Lee S, Yi JW, Kim JH, Lee BJ, Seo H, et al. Stroke Volume Variation and Stroke Volume Index Can Predict Fluid Responsiveness after Mini-Volume Challenge Test in Patients Undergoing Laparoscopic Cholecystectomy. *Medicina (Kaunas)*. 2019;56(1):3.
38. Chen J, Zhao S, Zhu Q. Reliability of stroke volume or pulse pressure variation as dynamic predictors of fluid responsiveness in laparoscopic surgery: a systematic review. *J Clin Monit Comput*. 2023;37(2):379-387.
39. Biasi M, Ehrmann S, Mari A, Conte B, Mahjoub Y, Desebbe O, et al. Clinical relevance of pulse pressure variations for predicting fluid responsiveness in mechanically ventilated intensive care unit patients: the grey zone approach. *Crit Care*. 2014;18(6):587.
40. Cannesson M, Le Manach Y, Hofer CK, Goarin JP, Lehot JJ, Vallet B, et al. Assessing the diagnostic accuracy of pulse pressure variations for the prediction of fluid responsiveness: a 'gray zone' approach. *Anesthesiology*. 2011;115(2):231-241.
41. Le Manach Y, Hofer CK, Lehot JJ, Vallet B, Goarin JP, Tavernier B, et al. Can changes in arterial pressure be used to detect changes in cardiac output during volume expansion in the perioperative period? *Anesthesiology*. 2012;117(6):1165-1174.
42. Mallat J, Meddour M, Durville E, Lemyze M, Pepy F, Temime J, et al. Decrease in pulse pressure and stroke volume variations after mini-fluid challenge accurately predicts fluid responsiveness. *Br J Anaesth*. 2015;115(3):449-456.
43. Mallat J, Fischer MO, Granier M, Vinsonneau C, Jonard M, Mahjoub Y, et al. Passive leg raising-induced changes in pulse pressure variation to assess fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a multicentre prospective observational study. *Br J Anaesth*. 2022;129(3):308-316.
44. Ganter MT, Geisen M, Hartnack S, Dzemali O, Hofer CK. Prediction of fluid responsiveness in mechanically ventilated cardiac surgical patients: the performance of seven different functional hemodynamic parameters. *BMC Anesthesiol*. 2018;18(1):55.
45. Hofer CK, Senn A, Weibel L, Zollinger A, et al. Assessment of stroke volume variation for prediction of fluid responsiveness using the modified FloTrac and PiCCO-plus system. *Crit Care*. 2008;12(3):R82.
46. Derichard A, Robin E, Tavernier B, Costecalde M, Fleyfel M, Onimus J, et al. Automated pulse pressure and stroke volume variations from radial artery: evaluation during major abdominal surgery. *Br J Anaesth*. 2009;103(5):678-684.
47. de Wilde RBP, Geerts BF, van den Berg PCM, Jansen JRC, et al. A comparison of stroke volume variation measured by the LiDCOplus and FloTrac-Vigileo system. *Anaesthesia*. 2009;64(9):1004-1009.
48. Mesquida J, Kim HK, Pinsky MR. Effect of tidal volume, intrathoracic pressure, and cardiac contractility on variations in pulse pressure, stroke volume, and intrathoracic blood volume. *Intensive Care Med*. 2011;37(10):1672-1679.
49. Kim HK, Pinsky MR. Effect of tidal volume, sampling duration, and cardiac contractility on pulse pressure and stroke volume variation during positive-pressure ventilation. *Crit Care Med*. 2008;36(10):2858-2862.
50. Reuter DA, Kirchner A, Felbinger TW, Weis FC, Kilger E, Lamm P, et al. Usefulness of left ventricular stroke volume variation to assess fluid responsiveness in patients with reduced cardiac function. *Crit Care Med*. 2003;31(5):1399-1404.
51. Heenen S, De Backer D, Vincent JL. How can the response to volume expansion in patients with spontaneous respiratory movements be predicted? *Crit Care*. 2006;10(4):R102.
52. Teboul JL, Monnet X. Prediction of volume responsiveness in critically ill patients with spontaneous breathing activity. *Curr Opin Crit Care*. 2008;14(3):334-339.
53. Suk P, Zvoníček V, Pavlík M, Štětka P, Šrámek V. Dynamické parametry preloadu při ventilaci tlakovou podporou. *Anest intenziv Med*. 2009;20(3):137-142.
54. Wang C, Feng Z, Cai J, et al. Accuracy of stroke volume variation and pulse pressure variation in predicting fluid responsiveness undergoing one-lung ventilation during thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Ann Transl Med*. 2023;11(1):19.
55. Huan S, Dai J, Song S, Zhu G, Ji Y, Yin G. Stroke volume variation for predicting responsiveness to fluid therapy in patients undergoing cardiac and thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2022;12(5):e051112.
56. Ishihara H, Hashiba E, Okawa H, Saito J, Kasai T, Tsubo T. Neither dynamic, static, nor volumetric variables can accurately predict fluid responsiveness early after abdominothoracic esophagectomy. *Perioper Med* 2013, 2:3.