

i tlakem generovaným pacientem. Pacientovo úsilí je obtížně měřitelné a jeho nezohlednění ve vzorcích pro výpočet ME by vedlo ke značnému podhodnocení ME. Jedinou možností je použít P_{tp} (transpulmonární tlak), tedy skutečný tlak, který rozpíná plíce a použít geometrickou metodu výpočtu [23]. P_{tp} ale nepředstavuje běžně měřenou veličinu a jeho stanovení pomocí měření dolního jícnového tlaku má řadu úskalí. Pacienti s tlakovou podporou jsou rovněž významně ohrožení rozvojem plicního postižení (self-inflicted lung injury, SILI) a problematika zahrnuje velmi komplexní hodnocení jednotlivých parametrů mechaniky ventilace a zvážení načasování odpojování od UPV. Nebezpečná ventilace u pacientů při vědomí může významně zhoršit prognózu a vést ke zhoršení mechaniky ventilace [24].

Přehled vzorců pro výpočet ME je uveden v tabulce 1.

ME jako prognostický parametr

V animálních studiích byl potvrzen vztah velikosti ME a rozsahu plicního postižení, kdy sekční nálezy prokázaly zvýšenou fibrotizaci u zvířat ventilovaných vyšší ME [25–27]. Ve studii Parhara et al., která hodnotila 731 pacientů s ARDS byla ME vyšší než 22 J/min spojena s vyšší 28denní mortalitou [28]. Bhalla et al. zjistil ve své multicentrické studii na 306 pediatrických pacientech s ARDS, že vyšší ME je spojena s vyšší pravděpodobností potřeby UPV 28. den hospitalizace [29]. V řadě dalších studií u pacientů s ARDS byla potvrzena asociace vyšší ME se vzestupem mortality [30–35]. Rovněž u pacientů s nižším stupněm plicního postižení, a tedy bez ARDS [36, 37] byly výsledky podobné. V metaanalýze šesti randomizovaných kontrolovaných studií a jedné observační studie, kde bylo zařazeno 4 549 pacientů s ARDS, byla ME nezávislým prediktorem mortality společně s velikostí DP a RR [38]. Urner et al. zkoumal vztah velikosti ME a mortality u pacientů s ARDS [39]. Rozdělil pacienty podle DP a ME (DP nad a pod 15 cm H₂O; ME nad a pod 17 J/min) do dvou skupin. Pacienti ve skupinách s vyšším DP a vyšší ME měli vyšší riziko mortality na jednotce intenzivní péče (ICU, intensive care unit; ICU mortalita). Parametry byly měřeny jen jedenkrát denně vždy v 8 hodin ráno, což může představovat značné zkreslení. Analýzu ME retrospektivně z elektronického záznamového systému na jednotce intenzivní péče (JIP) provedl Sentruk et al. na více než 3 000 pacientech [40]. Mortalita pacientů s ME nižší než 11,3 J/min byla 35,4 % a ve skupině s ME nad 11,3 J/min byla 49,1 %. Stejně tak byla vyšší ME spojena s delší dobou UPV a pobytem na JIP. Další rozsáhlou retrospektivní analýzu provedl Serpa et al. u více než 8 000 pacientů na UPV [41]. Rovněž prokázal asociaci vyšší ME s vyšší nemocniční mortalitou, ale zajímavé bylo zjištění, že i ve skupině pacientů s nízkým V_t byla vyšší mortalita, pokud byli ventilováni celkovou ME vyšší než 17 J/min. Analýzu pacientů s ARDS na podkladě virové pneumonie SARS-CoV-2 (CARDS) provedl Azizi et al., kdy srovnal pacienty s ARDS jiné etiologie [42]. U pacientů s CARDS byla ME měřena během prvního dne UPV 19,3 (1,6–24,0) J/min, zatímco u pacientů s jiným typem ARDS jen 13,2 (10,2–18,0) J/min. Vyšší ME byla spojena s vyšší mortalitou nezávisle na SARS-CoV-2. Saffar et al. zjišťovali efekt různých kombinací nastavení UPV s cílem snížit ME a DP, při současně zachované adekvátní výměně plynů a stejné RR [43]. Úspěšně snížili ME v 66 % a DP ve 23 %.

Výpovědní hodnotu ME je možné zlepšit při zohlednění predikované hmotnosti pacienta [44–46] nebo zohledněním plicní kapacity či poddajnosti (specifická ME) [47]. Dat v této oblasti je ale zatím velmi málo.

Jak nízko bychom měli ME udržovat?

Z klinického pohledu je zásadní nejen to, jak přesně je schopen lékař ME stanovit, ale především jestli existuje hodnota ME, která představuje významně zvýšené riziko VILI. Tedy hodnota, za kterou by již UPV neměla být bezpečně prováděna. V obecné rovině je racionální každého pacienta ventilovat s co nejvyšší bezpečností a snažit se snížit ME vhodným nastavením UPV. U pacientů s těžkými formami ARDS je ventilace z pravidla velmi obtížná. UPV by měla být nastavena tak, aby výměna krevních plynů v plicích umožnila adekvátní oxygenaci organismu a eliminaci CO₂ (při toleranci permissivní hyperkapnie) a současně nevedla k dalšímu poškození nemocných plic. Pokud adekvátní výměna krevních plynů není možná bezpečnou UPV při využití všech konzervativních možností managementu ARDS (svalová relaxace, pronace, použití vyšších hodnot PEEPu a recruitmentu atd.), je na zvážení použití mimotělné membránové oxygenace (ECMO), aby výměna krevních plynů byla zajištěna mimotělním oxygenátorem a UPV mohla být nastavena do bezpečného pásma. V řadě případů je obtížné rozhodnout, zda-li je pro daného konkrétního pacienta s individuálním plicním postižením UPV již za hranici bezpečnosti nebo je možné danými tlaky a objemy pacienta bez obav ventilovat. ME může být v tomto užitečnou metodou hodnocení celkové agresivity UPV, zejména pokud se ME vztahuje k plicní poddajnosti (velikosti ventilovatelné plíce) nebo predikované váze pacienta.

V současné době neexistuje dostatečně silná evidence jednoznačně určující hodnotu ME, která představuje hranici agresivní ventilace a vysokého rizika VILI. V řadě studií jsou například zdravá zvířata ventilována extrémně agresivně a je otázkou, zda-li hodnoty ME pro rozvoj VILI v těchto modelech je možné přenést do problematiky plicního postižení, ARDS a běžné denní praxe. Rovněž je podstatné nezaměňovat hodnoty vypočtené s využitím P_{tp}, tedy ME_{plic} a s využitím DP, kdy tato ME bude působit na celý respirační systém.

Cressoni et al. použil P_{tp} a geometrickou metodu výpočtu v animálním modelu VILI [48]. Prasata byla ventilována stejným P_{tp} a V_t, zatímco RR byla v jednotlivých skupinách odlišná. Hodnoty ME_{plic} nad 12 J/min vedly k rozvoji plicního postižení a edému (dle CT). Pokud byla dále ve skupině zvířat bez poškození na CT zvýšena RR (bez změny dalších parametrů), tak aby ME_{plic} byla větší než 12 J/min, došlo u všech prasat k rozvoji VILI. Romitti et al. ventilovali zdravá prasata 48 hodin s ME 3, 7 a 12 J/min [49]. Došlo ke zvýšení hmotnosti plic, zhoršení histologického nálezu na plicích v závislosti na velikosti ME. V práci Guérina et al., která hodnotila retrospektivně data ze dvou randomizovaných kontrolovaných studií (Acurasys [50] a Proseva [51]) byla rovněž ME vyšší než 12 J/min spojena s rozvojem VILI [52]. Ve studii nebyl zohledněn PEEP (vypočítáváno podle vzorce číslo 7 bez zahrnutí hodnoty PEEP) a ME byla hodnocena jen první den UPV. Ačkoli rozdíl ve skupinách byl statisticky významný, není uveden stupeň asociace (hazard ratio) mezi skupinami s ME pod a nad 12 J/min. Pokud měly obě skupiny