

Revijalni članak

Review article

**REKRUTMENT MANEVAR U
INTRAOPERATIVNOJ MEHANIČKOJ
VENTILACIJI – MOGUĆNOST
PREVENCIJE ATELEKTAZE**

Igor Vasković¹, Dušica Stamenković¹, Mihajlo Stojić¹,
Nenad Nikolić¹, Rade Vuković¹, Vojislava Nešković¹

¹Klinika za anesteziologiju i intenzivnu terapiju, Vojnomedicinska akademija, Beograd, Srbija

**RECRUITMENT MANEUVER IN
INTRAOPERATIVE MECHANICAL
VENTILATION – POSSIBILITY TO PREVENT
ATELECTASIS OPEN LUNG CONCEPT**

Igor Vasković¹, Dušica Stamenković¹, Mihajlo Stojić¹,
Nenad Nikolić¹, Rade Vuković¹, Vojislava Nešković¹

¹Department of Anesthesiology and Intensive Care, Military Medical Academy, Belgrade, Serbia

Sažetak

Postoperativne plućne komplikacije (PPK) mogu imati veliki uticaj na morbiditet i mortalitet bolesnika koji se podvrgavaju velikim hirurškim intervencijama. Kod čak 90% bolesnika u opštoj anesteziji dolazi do razvoja atelektaza u nižim delovima pluća, koje mogu da perzistiraju i postoperativno. Mnoge studije su nedvosmisleno pokazale da upotreba umerenih vrednosti pozitivnog pritiska na kraju ekspirijuma (PEEP), već pri započinjanju preoksigenacije, efikasno održava end-ekspiratorni volumen pluća i umanjuje nastanak atelektaza. Međutim, PEEP, sam po sebi, ne može efikasno i potpuno ponovo otvoriti već kolabirane alveole. Rekrutment manevar (RM), koji predstavlja tranzitorno povećanje pritiska u disajnim putevima (zadržavanje daha), može da reekspandira kolabirane alveole, poveća površinu pluća dostupnu za gasnu razmenu i dovede do bolje oksigenacije. Upotreba malih disajnih volumena, visok PEEP i RM mogu imati pozitivne efekte perioperativno, ali precizna uloga svakog od njih nije potpuno razjašnjena. Potrebna su dalja istraživanja kako bi se jasno definisali protokoli o perioperativnoj mehaničkoj ventilaciji kod različitih populacija hirurških bolesnika.

Ključne reči: postoperativna plućna atelektaz; mehanička ventilacija; pozitivni pritisak na kraju ekspirijuma

Uvod

Postoperativne plućne komplikacije (PPK) mogu imati veliki uticaj na morbiditet i mortalitet bolesnika koji se podvrgavaju velikim hirurškim intervencijama. Oko 5% bolesnika na opštoj hirurgiji razvije PPK¹, a jedan od 5 bolesnika koji razvije PPK ima smrtni ishod unutar 30 dana od

Autor za korespondenciju: Igor Vasković, Klinika za anesteziologiju i intenzivnu terapiju, Vojnomedicinska akademija, Crnotravska 17, 11000 Beograd, Srbija, E-mail: igor_vaskovic@yahoo.com, Telefon: +381 0652009799

Abstract

Postoperative pulmonary complications (PPCs) following major surgery may have significant effect on the outcome. Atelectasis develops and can persist after surgery in as much as 90% of all patients exposed to general anesthesia. Multiple studies have convincingly demonstrated that moderate levels of Positive End Expiratory Pressure (PEEP), applied ideally as soon as preoxygenation is initiated, may be effective to maintain the end-expiratory lung volume and prevent atelectasis. However, PEEP alone cannot effectively reopen a collapsed lung and the use of recruitment maneuver (transient increase in trans-pulmonary pressure) is required. Low tidal volumes, high PEEP and recruitment maneuvers may have protective effects intraoperatively, but the exact place of each intervention has been defined less clearly. Further studies are warranted in order to define the best protocols for intraoperative mechanical ventilation in different populations of surgical patients.

Key words: Postoperative pulmonary atelectasis; Mechanical ventilation; Positive End Expiratory Pressure

hirurške intervencije.¹ Takođe, PPK su usko povezane sa dužinom boravka u bolnici nakon operacije, kratkoročnim i dugoročnim mortalitetom i troškovima lečenja.^{1,2}

Intraoperativne atelektaze

Kod čak 90% bolesnika u opštoj anesteziji dolazi do razvoja atelektaza u nižim delovima pluća,

Corresponding author: Igor Vasković, Klinika za anesteziologiju i intenzivnu terapiju, Vojnomedicinska akademija, Crnotravska 17, 11000 Beograd, Srbija, E-mail: igor_vaskovic@yahoo.com, Telephone: +381 0652009799

koje mogu perzistirati i postoperativno.^{3,4} Tačan mehanizam njihovog nastanka nije potpuno objašnjen, ali se zna da je povezan sa:

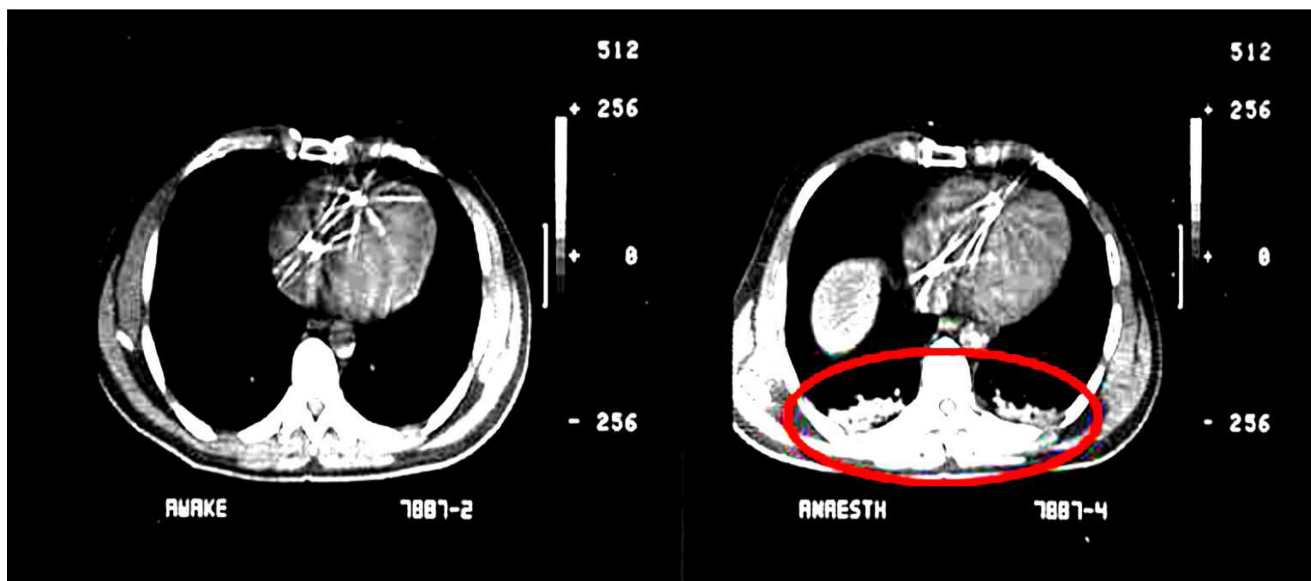
- 1) Primenom mišićnih relaksanata i smanjenjem pokretljivosti nižih delova pluća i dijafragme, što dovodi do pojave kompresivnih atelektaza (postojanje diskrepancije između oblika grudnog koša i oblika pluća, izazvane opštom anestezijom)⁵
- 2) Fenomenom poznatim kao resorptivna atelektaza, koji nastaje po uvodu u anesteziju, kada se inspiratorna frakcija kiseonika poveća do 100%⁶
- 3) Prekidom (nepostojanjem) dubokih udaha (sigh) koji se normalno javljaju pri spontanom disanju.^{7,8}

Udah (sigh) predstavlja normalni homeostatski refleks, posredovan hemoreceptorima, čija je funkcija održavanje plućne komplijanse. Njime se, takođe, minimizira alveolarno arterijski gradijent,

- 1) Preteranu ekspanziju susednih, dobro ventiliranih (i više komplijantnih) delova pluća¹¹
- 2) Istezanje zidova alveola (shear stress) na graničnom delu između atelektatičnih i dobro ventiliranih delova pluća, što dovodi do strukturnog oštećenja, kako epitelnih ćelija, tako i vaskularnog endotela¹²
- 3) Lokalnu produkciju i sistemsko širenje inflamatornih medijatora.¹³

Dok upotreba velikih disajnih volumena može uzrokovati hiperdistenziju susednih neatelektatičnih delova pluća, upotreba malih disajnih volumena sa malim vrednostima PEEP-a ili bez PEEP-a svakako dovodi do gubitka vazdušnosti pluća i promovira nastanak atelektaza.¹⁴ Mnoge studije su nedvosmisleno pokazale da upotreba umerenih vrednosti PEEP-a, već pri započinjanju preoksigenacije, efikasno održava end-ekspiratorni volumen pluća i umanjuje nastanak atelektaza.¹⁵

Slika 1. Nastanak atelektaza nakon uvoda u anesteziju



održava fiziološki šant unutar fiziološkog opsega i oslobađa nova količina plućnog surfaktanta. Zdrave osobe u budnom stanju u toku jednog sata naprave devet do deset dubokih udaha.⁹

Atelektaze, koje nastaju tokom opšte anestezije, održavaju se i u postoperativnom periodu, dovodeći do smanjenja oksigenacije i plućne komplijanse, u zavisnosti od njihovog opsega.¹⁰ Iako je inicijalno oštećenje kolaps alveola, mehanizam kojim postojanje atelektaza dovodi do daljeg oštećenja pluća obuhvata:

Rekrutment manevar: zašto, kada i kako ga primenjivati?

Mora se naglasiti da PEEP, sam po sebi, ne može efikasno i potpuno ponovo otvoriti već kolabirane alveole.¹⁶ Rekrutment manevar (RM), koji predstavlja tranzitorno povećanje pritiska u disajnim putevima (zadržavanje daha), može da reekspandira kolabirane alveole, poveća površinu pluća dostupnu za gasnu razmenu i dovede do bolje oksigena-

cije.¹⁷ RM, kod mehanički ventiliranog bolesnika u anesteziji, zapravo odgovara udahu (sigh) tokom normalnog spontanog disanja.

Rekrutment manevar se koristi da bi se otvorili kolabirani delovi pluća, a zatim se upotrebom odgovarajućeg PEEP-a sprečava njihov ciklični kolaps pri svakoj respiraciji. Ovakvom strategijom dolazi do povećanja funkcionalnog rezidualnog kapaciteta pluća (FRC), poboljšava se gasna razmena i smanjuje mogućnost nastanka ventilacijom izazvane povrede pluća (VILI).¹

Sa druge strane, bolesnici koji se podvrgavaju ovoj metodi moraju biti duboko sedirani ili relaksirani, a povećanje transpulmonallog pritiska smanjuje preload, što može dovesti do hemodinamske nestabilnosti. Prolazna hiperkapnija i pneumotoraks su, takođe, moguće komplikacije RM.¹⁸

RM se primarno primenjivao kod pacijenata se teškim stepenom ARDS-a. Danas se sve više upotrebljava kao deo „koncepta otvorenih pluća“ (open lung concept). Efekti RM su posebno dobro izraženi u anesteziji gojaznih bolesnika i laparoskopskoj hirurgiji.¹⁹

Intraoperativna protektivna ventilacija i RM

Sve je veći broj dokaza u literaturi da intraoperativna protektivna ventilacija (lung protective ventilation), koja podrazumeva disajni volumen od 4–8 ml/kg idealne telesne mase, uz upotrebu PEEP-a i rekrutment manevara, sprečava nastanak postoperativnih plućnih komplikacija u poređenju sa mehaničkom ventilacijom sa velikim disajnim volumenom i niskim vrednostima PEEP-a, bez rekrutment manevara.^{3–6}

Multicentrična studija u Francuskoj, PROVE (Intraoperative PROtective VEntilation),²⁰ koja je obuhvatila 400 bolesnika koji se podvrgavaju elektivnoj otvorenoj hirurgiji abdomena, upoređivala je intraoperativnu protektivnu ventilaciju (disajni volumen 6–8 ml/kg i PEEP 6–8 cmH₂O sa upotrebom RM) i neprotektivnu ventilaciju pluća (disajni volumen 10–12 ml/kg i PEEP 0 cmH₂O). Bolesnici sa protektivnom ventilacijom pluća su imali manji broj PPK i kraći period boravka u bolnici, ali se mortalitet nije značajno razlikovao među grupama.

Poređenjem efekata intraoperativne protektivne (disajni volumen 7 ml/kg i PEEP 10 cmH₂O sa upotrebom RM) i neprotektivne ventilacije pluća (disajni volume 9 ml/kg i PEEP 0 cmH₂O) bavila se

i monocentrična studija izvedena u Italiji.²¹ Obuhvaćeno je 56 bolesnika sa otvorenom abdominalnom hirurgijom u trajanju od najmanje 2 sata. CPI skor (Clinical Pulmonary Infection Score: skor koji služi za brzu dijagnostiku pneumonija udruženih sa mehaničkom ventilacijom - VAP)²² bio je niži kod bolesnika sa protektivnom ventilacijom pluća. Bolesnici sa ovim oblikom ventilacije imali su bolju arterijsku oksigenaciju i manji broj radiografski detektovanih promena na plućima.

U Evropi, Severnoj i Južnoj Americi, sprovedena je internacionalna multicentrična studija PROVHILO (PROtective Ventilation using LOgh vs. low PEEP).²³ Kod 900 bolesnika, koji su bili planirani za otvorenu abdominalnu hirurgiju poređeni su efekti disajnog volumena od 8 ml/kg, zajedno sa PEEP-om od 12 cmH₂O u kombinaciji sa RM i disajnog volumena od 8 ml/kg sa vrednošću PEEP-a od 2 cmH₂O bez RM. Nije bilo razlike u incidenciji PPK između ove dve grupe bolesnika.

Međutim, metode izvođenja RM bile su različite u ovim studijama. Italijanski istraživači (kao i u PROVHILO studiji) koristili su postepeno povećanje disajnog volumena, sve dok plato pritiska ne dostigne vrednost 30 cmH₂O i to: odmah nakon intubacije, pri svakom odvajanju bolesnika od ventilatora i neposredno nakon ekstubacije.^{21,23} U PROVE studiji RM je izvođen primenom CPAP-a od 30 cmH₂O u trajanju od 30 sekundi, svakih 30 minuta nakon intubacije.²⁰ Veoma je teško zaključiti koji su postupci doveli do smanjenja PPK, smanjenje disajnog volumena, povećanje PEEP-a ili oba, kao i koja je uloga samog RM u pojedinačnim studijama.

Metode izvođenja rekrutment manevara

Različite metode izvođenja rekrutment manevara su opisane u literaturi:¹⁸

1. CPAP od 401 cmH₂O u trajanju od 40–60 sekundi
2. 3 konsektivna udaha (sigh) sa plato pritiskom od 45 cmH₂O
3. Prolongirano povećanje inspiratornog pritiska do 40 cmH₂O (RAMP)
4. Stepeničasti (staircase) rekrutment manevar
5. Pozicioniranje bolesnika u položaj na trbuhu (prone position) se, takođe, može smatrati rekrutment manevrom. Takođe, u „prone“ poziciji bolesnika svi rekrutment manevri su mnogo efikasniji.

Kontinuirani pozitivni pritisak od 40 cmH₂O u trajanju od 40–60 sekundi je metoda izvođenja RM koja je najviše opisana u literaturi.²⁴ RM sa stepeničastim povećanjem pritiska u disajnom putu omogućava postepeno, umesto naglog povećanja transpulmonalnog pritiska.²⁵ Pošto stepeničasti RM reekspandira pluća dovoljno efikasno kao i ostali RM, njegova prednost je u tome što mnogo ređe dovodi do hemodinamske nestabilnosti bolesnika i hiperinflacije pluća.²⁵ U ovom kontekstu, RM kontinuiranim pozitivnim pritiskom češće dovodi do hipotenzije²⁶, barotraume²⁶ i manje je efikasan u poboljšanju oksigenacije i smanjenju intrapulmonalnog šanta.²⁷ Takođe, u eksperimentalnom, endotoksinom indukovanom ARDS-u, stepeničasti RM, u poređenju sa kontinuiranim pozitivnim pritiskom, dovodi do manjeg stepena oštećenja pneumocita tipa II (alveolarne ćelije koje proizvode plućni surfaktant) i smanjene ekspresije markera koji su udruženi sa nastankom fibroze i oštećenjem endotelnih ćelija u ARDS-u.²⁸

Posebna prednost stepeničastog (staircase) RM predstavlja mogućnost određivanja optimalne, individualizovane vrednosti PEEP-a za svakog bolesnika.

Izvođenje svih RM je kontraindikovano u sledećim stanjima: intrakranijalna hipertenzija, hemodinamska nestabilnost, trenutni ili nedavni pneumotoraks ili pneumomediastinum, opstruktivne bolesti pluća (HOBP, astma), pneumektomija, bronhopleuralna fistula, hemoptizije.²⁹

Stepeničasti (staircase) rekrutment manevar (SRM)

Van operacione sale i opšte anestezije, stepeničasti rekrutment manevar se preporučuje kod teškog oblika ARDS-a koji traje kraće od sedam dana.³⁰ Bolesnici sa ARDS-om koji traje duže od nedelju dana spadaju u grupu bolesnika kod kojih je slabo izražen pozitivan efekat rekrutmenta (low responders), zbog čega je kod njih ovaj postupak relativno kontraindikovan.

Samo izvođenje SRM obuhvata sledeće postupke:

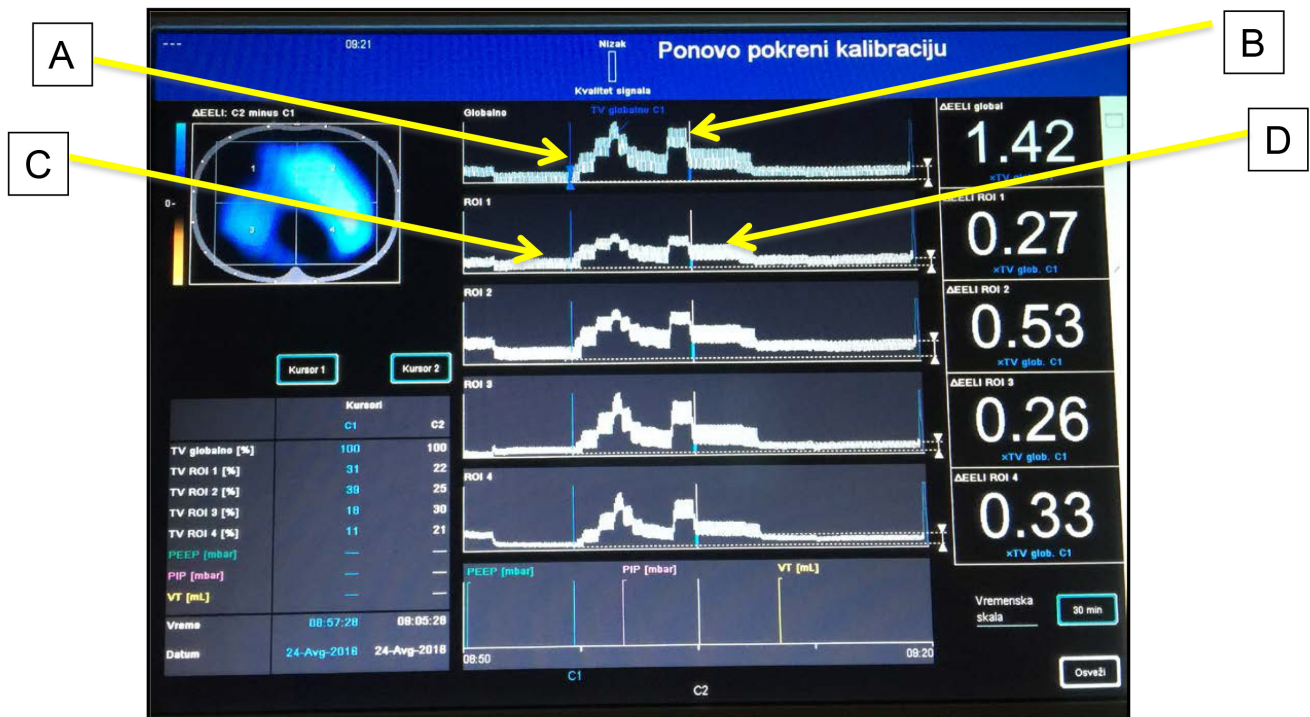
- Upotrebu pritiskom kontrolisanog oblika ventilacije (PCV)
- Primenu FiO₂ kojim se postiže SaO₂ između 90–92%
- Podešavanje početne vrednosti PEEP-a na 5 cmH₂O

- Korišćenje inspiratornog pritiska (Pi) od 15 cmH₂O iznad PEEP (*driving pressure*)
- Izvođenje samog manevra istovremenim povećavanjem i PEEP-a i Pi za 5 cmH₂O (stepeničasto povećanje), svakih 2 min do ciljnih vrednosti PEEP-a od 20 cmH₂O, odnosno, vrednosti Pi od 35 cmH₂O (kod pacijenata sa teškim oblikom ARDS-a, PEEP se povećava do 40 cmH₂O, a Pi do 55 cmH₂O – *maksimalni rekrutment manevar*)
- Tokom izvođenja manevra, potrebno je pratiti vrednosti komplijanse pluća i SaO₂. Prilikom povećavanja pritiska, u početku dolazi do povećanja vrednosti komplijanse (otvaranje kolabiranih alveola). Ukoliko sa daljim povećanjem PEEP-a i Pi, a pre dostizanja planiranih maksimalnih vrednosti, dođe do pada komplijanse (hiperinflacija pluća), prestaje se sa njihovim daljim povećavanjem i prelazi se u sledeću fazu postupka
- Po dostizanju ciljnih vrednosti pritiska, započinje se sa smanjivanjem PEEP-a i Pi za 2 cmH₂O svakih tri minuta, sve do novog pada komplijanse pluća ili SaO₂ za ≥ 1% (*tačka derekrutmenta*)
- Na kraju, ponovo se povećava PEEP do maksimalne vrednosti dostignute tokom izvođenja RM u trajanju od jednog minuta. Na kraju, započinje se mehanička ventilacija sa PEEP-om podešenim na vrednost 2 cmH₂O, većoj od one na kojoj se nalazi tačka derekrutmenta (optimalni PEEP za svakog pacijenta).

Naime, tokom RM dolazi do otvaranja kolabiranih alveola, što dovodi do povećanja komplijanse pluća. Po otvaranju svih alveola, daljim povećanjem pritiska, dolazi do hiperinflacije pluća, što se ogleda u smanjenoj rastegljivosti pluća i padu komplijanse. Prilikom određivanja tačke derekrutmenta, sa smanjivanjem pritiska, prvo dolazi do rasta komplijanse (izlazi se iz hiperinflacije), a zatim njenog novog pada, kada alveole, zbog nedovoljnog PEEP-a, ponovo kolabiraju. Poslednja faza postupka podrazumeva definitivno otvaranje alveola i podešavanje PEEP-a na određenu optimalnu vrednost.

SRM treba da se prekine ukoliko dođe do: pada SaO₂ ispod 85% (blaga desaturacija tokom izvođenja procedure ne ukazuje na loš odgovor na SRM), pada sistolnog pritiska ispod 80 mmHg, ukoliko srčana frekvenca bude ispod 60/min ili iznad 140/min, kao i ukoliko dođe do pojave srčanih aritmija.

Slika 2. Stepeničasti RM (Dräger PulmoVista® 500)



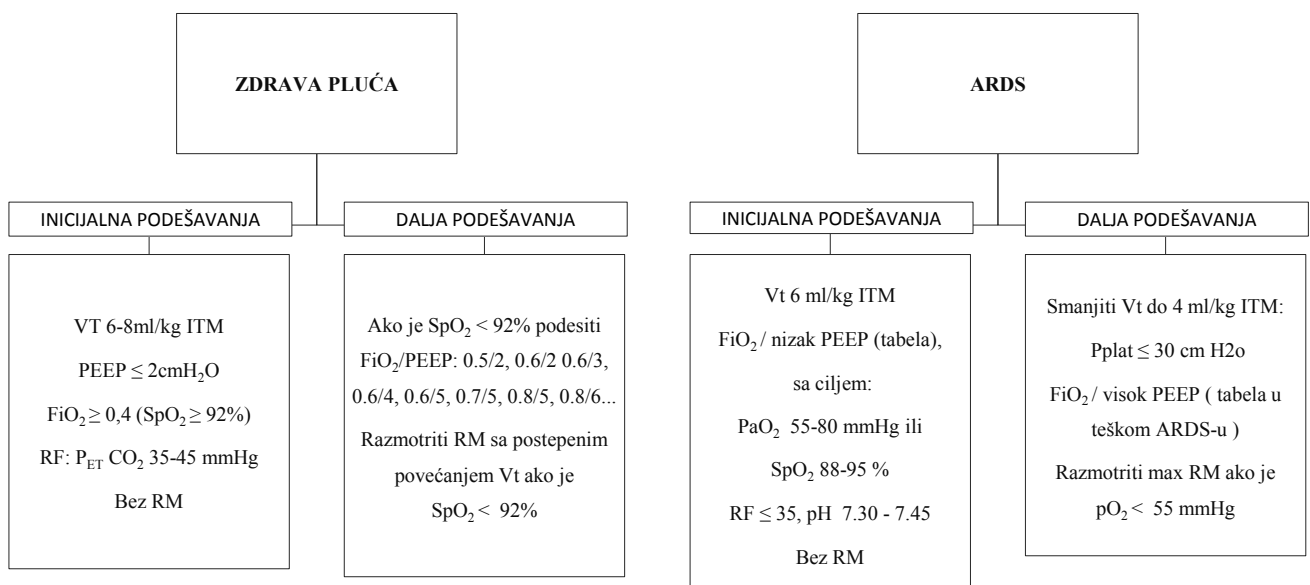
Preporuke za intraoperativnu mehaničku ventilaciju i RM

Jedini algoritam koji se danas preporučuje u kliničkoj praksi za intraoperativnu mehaničku ventilaciju, kako kod bolesnika sa zdravim plućima, tako i kod onih sa ARDS-om je iz PROVHILO studije i prikazan je na šemi 1.²³

RM u intraoperativnoj mehaničkoj ventilaciji negojzanih bolesnika

Kod negojzanih bolesnika, koji se podvrgavaju otvorenoj hirurgiji abdomena, trebalo bi da se upotrebljava nizak disajni volumen (6–8 ml/kg IBM) u kombinaciji sa nižim vrednostima PEEP-a. Ne postoji dovoljno dokaza da upotreba viših

Šema 1. Parametri volumenom kontrolisane mehaničke ventilacije kod negojzanih bolesnika tokom otvorene abdominalne hirurije



vrednosti PEEP-a u kombinaciji sa RM dodatno utiče na prevenciju PPK, a može dovesti do hemodinamske nestabilnosti bolesnika. Ukoliko dođe do razvoja hipoksemije i isključe se drugi faktori koji je mogu uzrokovati (hipotenzija, hypoventilacija, PTE), prvo bi trebalo da se poveća FiO_2 , a nakon toga da se poveća PEEP i sprovede RM (stepeničasti mod). (šema 1)

dostiže vrednost od 55–80 mmHg, odnosno SpO_2 88–95%, trebalo bi da se sprovede maksimalni stepeničasti rekrutment manevar.

RM u intraoperativnoj mehaničkoj ventilaciji gojaznih bolesnika

Još uvek nisu poznati optimalni intraoperativni

Tabela 1. Postepeno povećanje FiO_2 / PEEP kod pacijenata sa ARDS-om 31

Nizak PEEP / Visok FiO_2														
FiO_2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0
PEEP	5	5	8	8	10	10	10	12	14	14	14	16	18	18-24

Visok PEEP / Nizak FiO_2														
FiO_2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5-0.8	0.8	0.9	1.0	1.0
PEEP	5	5	8	8	10	10	10	12	14	14	14	16	18	18-24

RM u intraoperativnoj mehaničkoj ventilaciji negojaznih bolesnika sa ARDS-om

Kod negojaznih bolesnika sa ARDS-om, koji se podvrgavaju otvorenoj hirurgiji abdomena, preporučuje se intraoperativna mehanička ventilacija prema protokolu za ARDS (ARDS Network Protocol).³¹ (šema 1, desno) Ukoliko ciljani PaO_2 ne

parametri ventilacije gojaznih bolesnika. Multi-centrična PROBESE studija (Protective Ventilation With Higher Versus Lower PEEP During General Anesthesia for Surgery in Obese Patients), koja je fokusirana na intraoperativnu mehaničku ventilaciju gojaznih bolesnika, još uvek traje. Za sada, preporuke za mehaničku ventilaciju gojaznih bolesnika se ne razlikuju mnogo u odnosu na ne-

Šema 2: Parametri mehaničke ventilacije gojaznih bolesnika (modifikovano prema 32)

Mod ventilacije: VCV = PCV
Vt 6-8 ml/kg idealne telesne mase
Frekvencija: postizanje normokapije
FiO_2 minimizirati, sa ciljem $SaO_2 \geq 90\%$
PIP/Pplato $\leq 30\text{cmH}_2\text{O}$
PEEP: vrednosti oko 10-15 cmH_2O ³³ ili titrirati prema komplijansi, SaO_2 i pO_2)
RM se preporučuje pre podešavanja PEEP-a ³⁴ zbog smanjenja nastanka atelektaza i poboljšanja oksigenacije
Metoda RM: Stepeničasti rekrutment manevar ³⁵

gojazne i prikazane su na šemi 2. *Disajni volumen bi trebalo da se podese prema idealnoj, a ne aktualnoj telesnoj masi bolesnika.* Optimalna vrednost PEEP-a iznosi 10–15 cmH₂O ili se titrira prema vrednostima komplijanse pluća, SaO₂ i pO₂.³⁴ Stepeničasti RM ima prednost u odnosu na ostale metode izvođenja rekrutmenta, jer mnogo ređe dovodi do hemodinamske nestabilnosti bolesnika i hiperinflacije pluća.^{25, 34} Trebalo bi ga izvoditi pre podešavanja PEEP-a, sa ciljem smanjenja nastanka intraoperativnih atelektaza i poboljšanja oksigenacije.^{34,35} Pored rekrutmenta, neke jednostavne metode, poput primene blagog antitrendeleburgovog položaja i adekvatna reverzija neuromuskularne blokade, mogu da utiču na ređu učestalost atelektaza i postoperativnih plućnih komplikacija.³⁶

Zaključak

Intraoperativna protektivna ventilacija pluća smanjuje pojavu PPK. Rezultati brojnih randomizovanih kliničkih studija ukazuju da upotrebom malih disajnih volumena, PEEP i RM mogu imati protektivne efekte intraoperativno, ali precizna uloga svakog od ovih parametara nije potpuno razjašnjena. Potrebna su dalja istraživanja kako bi se jasno definisali protokoli o perioperativnoj mehaničkoj ventilaciji kod različitih populacija hirurških bolesnika.

Literatura

- Canet J, Gallart L, Gomar C, Paluzie G, Vallès J, Castillo J, Sabaté S, Mazo V, Briones Z, Sanchis J; ARISCAT Group: Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology* 2010; 113:1338–50
- Mazo V, Sabaté S, Canet J, Gallart L, Gama de Abreu M, Belda J, Langeron O, Hoefl A, Pelosi P: Prospective external validation of a predictive score for postoperative pulmonary complications. *Anesthesiology* 2014; 121:219–31
- Tremblay LN, Slutsky AS: Ventilator-induced lung injury: From the bench to the bedside. *Intensive Care Med* 2006; 32:24–33
- Chiumello D, Carlesso E, Cadringer P, Caironi P, Valenza F, Polli F, Tallarini F, Cozzi P, Cressoni M, Colombo A, Marini JJ, Gattinoni L: Lung stress and strain during mechanical ventilation for acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 2008; 178:346–55
- Froese AB, Bryan AC: Effects of anesthesia and paralysis on diaphragmatic mechanics in man. *Anesthesiology* 1974; 41(3):242–255.
- Joyce CJ, Baker AB: What is the role of absorption atelectasis in the genesis of perioperative pulmonary collapse? *Anaesth Intensive Care* 1995; 23(6):691–696.
- Hedenstierna G, Edmark E: Mechanisms of atelectasis in the perioperative period. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2010; 24(2):157–169.
- Dietl P, Frick M, Mair N, Bertocchi C, Haller T: Pulmonary consequences of a deep breath revisited. *Biol Neonate* 2004; 85(4):299–304.
- Bendixen HH, Smith GM, Mead J: Pattern of ventilation in young adults. *J Appl Physiol* 1964; 19:195–98.
- Lindberg P, Gunnarsson L, Tokics L, Secher E, Lundquist H, Brismar B et al. Atelectasis and lung function in the postoperative period. *Acta Anesthesiol Scand* 1992; 36:546–53.
- Duggan M, Kavanagh BP: Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology* 2005; 102:838–54.
- Duggan M, McCaul CL, McNamara PJ, Engelberts D, Ackerley C, Kavanagh BP: Atelectasis causes vascular leak and lethal right ventricular failure in uninjured rat lungs. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 167:1633–40.
- Dos Santos CC, Slutsky AS: Mechanisms of ventilator-induced lung injury: A perspective. *J Appl Physiol* 2000; 89:1645–55.
- Bendixen HH, Hedley-Whyte J, Laver MB: Impaired oxygenation in surgical patients during general anesthesia with controlled ventilation. A concept of atelectasis. *N Engl J Med* 1963; 269:991–6.
- Neumann P, Rothen HU, Berglund JE, Valtysson J, Magnusson A, Hedenstierna G: Positive end-expiratory pressure prevents atelectasis during general anesthesia even in the presence of a high inspired oxygen concentration. *Acta Anesthesiol Scand* 1999; 43:295–301.
- Futier E, Constantin JM, Pelosi P, Chanques G, Kwiatkoski F, Jaber S et al. Intraoperative recruitment maneuver reverses detrimental pneumoperitoneum-induced respiratory effects in healthy weight and obese patients undergoing laparoscopy. *Anesthesiology* 2010; 113:1310–9.
- Gonçalves LO, Cicarelli DD: Alveolar recruitment maneuver in anesthetic practice: how, when, and why it may be useful. *Rev Bras Anesthesiol* 2005; 55(6):631–638.
- Lapinsky SE, Mehta S: Bench-to-bedside review: Recruitment and recruiting maneuvers. *Critical care* 2005; 9(1):60–5.
- Futier E, Constantin JM, Pelosi P, Chanques G, Massone A, Petit A et al. Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients: a randomized controlled study. *Anesthesiology* 2011; 114:1354–63.
- Futier E, Constantin JM, Paugam-Burtz C, Pascal J, Eurin M, Neuschwander A, Marret E, Beaussier M, Gutton C, Lefrant JY, Allaouchiche B, Verzilli D, Leone M, De Jong A, Bazin JE, Pereira B, Jaber S; IMPROVE Study Group: A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med* 2013; 369:428–37
- Pugin J, Auckenthaler R, Milli N, Janssens JP, Lew PD, Suter PM: Diagnosis of ventilator-associated pneumonia by bacteriologic analysis of bronchoscopic and nonbronchoscopic „blind“ bronchoalveolar lavage fluid. *Am Rev Respir Dis* 1991; 143:1121–9
- Severgnini P, Selmo G, Lanza C, Chiesa A, Frigerio A, Bacuzzi A, Dionigi G, Novario R, Gregoretti C, Gama de

Abreu M, Schultz MJ, Jaber S, Futier E, Chiaranda M, Pelosi P: Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function. *Anesthesiology* 2013; 118:1307–21

23. Hemmes SN, Gama de Abreu M, Pelosi P, Schultz MJ: High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): A multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2014; 384:495–503

24. Oczenski W, Hörmann C, Keller C, Lorenzl N, Kepka A, Schwarz S, Fitzgerald RD. Recruitment maneuvers after a positive end-expiratory pressure trial do not induce sustained effects in early adult respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004; 101:620–625

25. Hodgson CL, Tuxen DV, Davies AR, Bailey MJ, Higgins AM, Holland AE, Keating JL, Pilcher DV, Westbrook AJ, Cooper DJ, et al. A randomised controlled trial of an open lung strategy with staircase recruitment, titrated PEEP and targeted low airway pressures in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care* 2011; 15:R133

26. Meade MO, Cook DJ, Guyatt GH, Slutsky AS, Arabi YM, Cooper DJ, Davies AR, Hand LE, Zhou Q, Thabane L, et al. Ventilation strategy using low tidal volumes, recruitment maneuvers, and high positive end-expiratory pressure for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA* 2008; 299:637–645

27. Villagrà A, Ochagavía A, Vatua S, Murias G, Del Mar Fernández M, Lopez Aguilar J, Fernández R, Blanch L. Recruitment maneuvers during lung protective ventilation in acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002; 165:165–170.

28. Silva PL, Moraes L, Santos RS, Samary C, Ramos MB, Santos CL, Morales MM, Capelozzi VL, Garcia CS, de Abreu MG, et al. Recruitment maneuvers modulate epithelial and endothelial cell response according to acute lung injury etiology. *Crit Care Med* 2013; 41:e256–e265

29. Meade MO, Cook DJ, Guyatt GH, Slutsky AS, Arabi YM, Cooper DJ, Davies AR, Hand LE, Zhou Q, Thabane L, Austin P, Lapinsky S, Baxter A, Russell J, Skrobik Y, Ronco JJ, Stewart TE; Lung Open Ventilation Study Investigators. Ventilation strategy using low tidal volumes, recruitment maneuvers, and high positive end-expiratory pressure for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA* 2008; 299(6):637–45

30. Hodgson CL, Tuxen DV, Davies AR, Bailey MJ, Higgins AM, Holland AE, Keating JL, Pilcher DV, Westbrook AJ, Cooper DJ, Nichol AD. A randomised controlled trial of an open lung strategy with staircase recruitment, titrated PEEP and targeted low airway pressures in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care* 2011; 15(3):R133

31. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network: Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000; 342:1301–8

32. Fernandez-Bustamante A, Hashimoto S, Serpa Neto A, Moine P, Vidal Melo MF, Repine JE. Perioperative lung protective ventilation in obese patients. *BMC Anesthesiol* 2015; 15:56.

33. Erlandsson K, Odenstedt H, Lundin S, Stenqvist O. Positive end-expiratory pressure optimization using electric impedance tomography in morbidly obese patients during laparoscopic gastric bypass surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006; 50:833–9

34. Suarez-Sipmann F, Bohm SH, Tusman G, Pesch T, Thamm O, Reissmann H et al. Use of dynamic compliance for open lung positive end-expiratory pressure titration in an experimental study. *Crit Care Med* 2007; 35:214–21

35. Shore SA, Fredberg JJ. Obesity, smooth muscle, and airway hyperresponsiveness. *J Allergy Clin Immunol* 2005; 115:925–7

36. Pelosi P, Gregoretti C. Perioperative management of obese patients. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2010; 24(2):211–25