

# Funkcije anestezijskega dihalnega balona v dihalnem sistemu

## Functions of anesthesia reservoir bag in a breathing system

Miljenko Križmarić

Medicinska fakulteta,  
Univerza v Mariboru,  
Maribor

### Korespondenca/ Correspondence:

Miljenko Križmarić,  
e: miljenko.krizmaric@  
um.si

### Ključne besede:

anestezijski dihalni sistemi; krožni anestezijski dihalni sistemi; anestezijski dihalni balon; razdruževanje svežih plinov

### Key words:

anesthesia breathing systems; circle anesthesia breathing systems; anesthesia reservoir bag; fresh gas decoupling

### Citirajte kot/Cite as:

Zdrav Vestn. 2017;  
86:226–35.

Prispelo: 14. 9. 2016

Sprejeto: 5. 3. 2017

### Izvleček

V članku predstavljamo različne funkcije anestezijskega dihalnega balona v dihalnem sistemu. Osrednji namen prispevka je razložiti dokaj zapleteno interakcijo med dihalnim balonom in dotokom svežih plinov med mehaničnim predihavanjem. Anestezijski dihalni balon je podajni zbiralnik plinov in predstavlja ključno komponento v večini dihalnih sistemov. Balon omogoča ročno predihavanje in je vizualni ter taktilni monitor spontanega dihanja. Balon je pri uporabi mehničnega predihavanja izključen iz tradicionalnega dihalnega sistema. V takem primeru opazimo neujemanje med nastavljeno in dejansko vrednostjo enkratnega volumna. Na nekaterih anestezijskih delovnih postajah, kot je Dräger Primus, pa balon med mehaničnim predihavanjem služi kot zbiralnik dihalnih anestezijskih plinov in sodi v sestavni del dihalnega sistema. Med mehaničnim predihavanjem plini pri vdihu zaradi zaprte zaklopke razdruževanja svežih plinov tečejo iz dovoda svežih plinov v balon. Varna splošna anestezija zahteva razumevanje tehnoloških novosti v zapletenih napravah, ki jih pri tem uporabljamo.

### Abstract

This article addresses the different functions of anesthesia reservoir bag in a breathing system. A main purpose of the contribution was to explain complex interaction between the reservoir bag and fresh gas flow during mechanical ventilation. The anesthesia reservoir bag is a collapsible gas container which is an essential component of most breathing systems. The anesthesia reservoir bag permits manual ventilation and acts as a visual or tactile indicator of spontaneous ventilation. The bag was excluded from traditional breathing system when the ventilator was in use. Discrepancies between the set and actual tidal volume can occur. However, on some anesthesia workstation systems, such as the Dräger Primus, the reservoir bag is an integral part of the breathing system during mechanical ventilation, where it serves as a reservoir for oxygen and anaesthetic gases. In mechanically ventilated patients, gases enter the bag from the fresh gas flow during inspiration, when the decoupling valve closes. The safe administration of general anesthesia requires understanding of the technological advances in highly sophisticated anesthetic equipment.

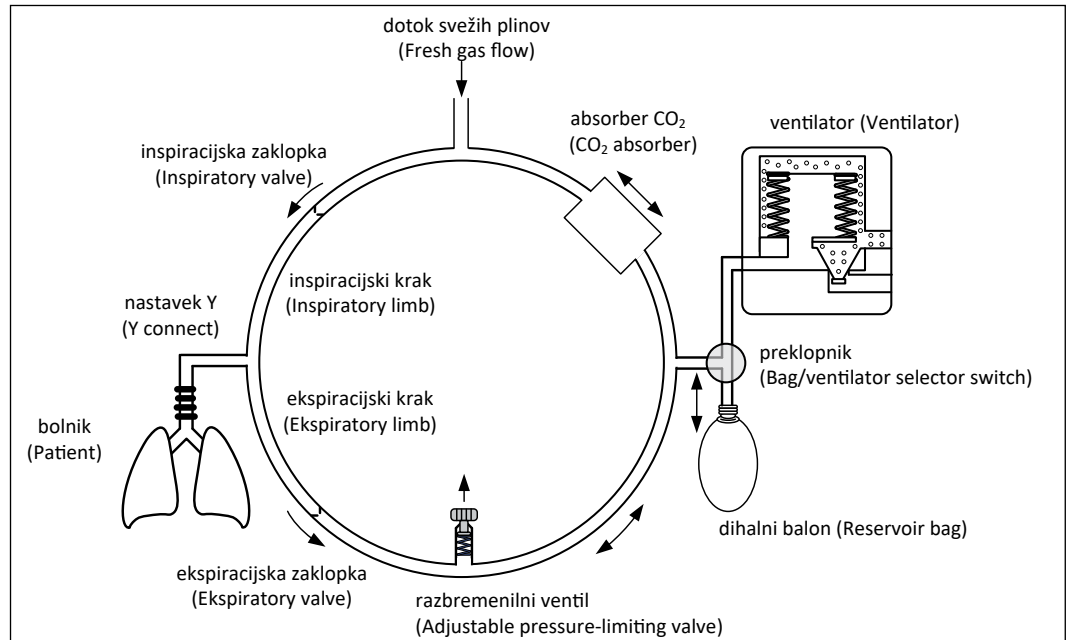
## 1 Uvod

Anestezijski dihalni balon (*angl.* anesthesia reservoir bag) je pomembna komponenta pri večini dihalnih sistemov, ki jih uporabljamo v anesteziji. Tradicionalni ali klasični krožni anestezijski

dihalni sistem je na Sliki 1 in vsebuje 7 različnih komponent:

- dotok svežih plinov,
- inspiracijsko in ekspiracijsko enosmerno zaklopko,

**Slika 1:** Tradicionalni anestezijski dihalni sistem.



- inspiracijski in ekspiracijski krak (rebrasti cevi),
- nastavek Y,
- razbremenilni ventil,
- absorber CO<sub>2</sub> z absorbentom in
- dihalni balon (1-2).

Dihalni balon je največkrat umeščen med ekspiracijsko zaklopko in absorberjem CO<sub>2</sub>. Takšna konfiguracija predstavlja možnost, da prah iz zrn absorbenta med ročnim ali mehničnim predihavanjem potisnemo v inspiracijski krak (3).

Kot vidimo na Sliki 1, se dotok svežih plinov pri vdihu usmeri do bolnika skozi inspiracijsko zaklopko, inspiracijski krak (cevi) in Y-nastavek. Izdihani zrak, ki vsebuje ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), teče po ekspiracijskem kraku skozi ekspiracijsko zaklopko in polni dihalni balon. Ko v balonu samem naraste tlak nad vrednost, nastavljeno na razbremenilnem ventilu, dihalni plini odteka iz dihalnega sistema skozi ta razbremenilni ventil v sistem za odsesavanje. Dihalni plini pri izdihu polnijo dihalni balon, pri vdihu pa se ti plini ponovno vračajo v bolnika iz balona, in sicer skozi absorber CO<sub>2</sub>, v katerem se vsrkava ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>).

Zaklopki usmerjata krožni enosmerni pretok dihalnih plinov (4). Za razliko od predstavljenega tradicionalnega krožnega sistema so pri različnih proizvajalcih posamezne komponente različno umeščene.

Slabost krožnega dihalnega sistema je v velikem številu različnih komponent, pri katerih lahko nastopijo napake (5). Te se pojavijo zaradi napačno spojenih spojk, uhajanja plinov, obstrukcije cevi, razpok v filtrih, lahko pa se nepričakovano s spojke sname tudi cevi. Pri spajanju cevi je treba upoštevati, da cevi potisnemo in zavrtimo (proizvajalec v navodilu za uporabo govori o postopku »push and twist«). V tem primeru je cevi spojena z višjo silo in se težje sname (6).

Mednarodni standard ISO, ki standardizira lastnosti anestezijskega dihalnega balona, ima oznako ISO 5362 (ISO 5362:2006 – Anaesthetic reservoir bags) (7). V skladu s standardom je pri balonih, nazivne prostornine do 1 litra, najvišje dovoljeno uhajanje plinov (*angl.* leakage) 10 ml/min. Pri balonih s prostornino več kot 1 liter, je najvišje dovoljeno uhajanje 25 ml/min. Uhajanje se meri pri tlaku  $3 \pm 0,3$  kPa. Baloni so lahko



**Slika 2:** Dihalni baloni različnih prostornin in spojki (Intersurgical Ltd).

izdelani iz naravne gume in vsebujejo lateks (pogosto so za večkratno uporabo) ali iz snovi brez lateksa za enkratno uporabo (na ovojnini mora biti navedeno, da balon ne vsebuje lateksa). Sila, ki jo mora med testiranjem z linearno obremenitvijo vrata balona zdržati balon, znaša  $40 \pm 4$  N (7). Tolerance za nazivno prostornino se gibljejo v mejah  $\pm 15$  %. Za priklop na dihalni sistem sta določeni dve spojki z notranjima premeroma, in sicer 15 mm (*angl.* 15F, female) in 22 mm (*angl.* 22F, female). Material, iz katerega je izdelan balon, mora biti antistatični (na balonu se ne sme nabirati elektrostatičen naboj) in ne sme drseti, ko ga držimo v roki. Material prav tako ne sme biti permeabilen za inhalacijske anestetike in jih ne sme absorbirati oziroma adsorbirati. Zgornji del balona, na katerem se nahaja spojka, imenujemo »vrat« (*angl.* neck), na nasprotni strani balona pa je »rep« (*angl.* tail). Rep, ki je tubularna ekstenzija balona, mora biti dolg najmanj 2 cm. Lahko je tudi odprt (*angl.* open tail); tedaj ima funkcijo izpustnega ventila pri linearnem dihalnem sistemu tipa *Mapleson F*. Balon je izdelan v obliki elipsoida, kar omogoča lažji prijem (7).

Baloni za uporabo v pediatriji imajo navadno nazivno prostornino 0,5 ali 1 liter (Slika 2, trije spodnji baloni), za odrasle pa prostornino 2 oz. 3 l (dva zgornja

balona na Sliki 2). Spodnja dva balona na Sliki 2 imata spojki s standardiziranim notranjim premerom 15 mm (15F), ostali baloni pa imajo standardiziran notranji premer 22 mm (22F).

Dihalni balon ima v tradicionalnem dihalnem sistemu funkcijo le pri spontanem dihanju ali ročnem predihavanju s pozitivnim tlakom. Med mehničnim predihavanjem ga s preklopnikom (*angl.* Bag/ventilator selector switch, prikazan na Sliki 1) izključimo iz dihalnega sistema in v tem načinu nima funkcije. Funkcijo predihavanja tedaj prevzame mehnični ventilator.

## 2 Dihalni balon in spontano dihanje

Najpomembnejša funkcija dihalnega balona med spontanim dihanjem bolnika je zbiranje dihalnih plinov. Pri bolnikovem vdihu 500 ml plina v trajanju 1 sekunde se ustvari visok povprečni pretok – 30 l/min (0,5 l x 60 s); maksimalne vrednosti so v sredini vdihla višje tudi za 30–40 % (12). Dotok svežih plinov tako visokih pretokov ne omogoča, zato se morajo plini zbirati v zbiralniku, tj. v dihalnem/zbiralnem balonu. Med spontanim dihanjem pri vdihu bolnik vdihne sveže dihalne pline skupaj s plini iz dihalnega balona, ki ne vsebujejo CO<sub>2</sub>, saj tečejo skozi absorber CO<sub>2</sub> in inspiracijsko zaklopko do bolnika, pri tem pa je ekspiracijski krak zaradi enosmerne ekspiracijske zaklopke zaprt. Balon se med izdihom polni z izdihanim zrakom in z dotokom svežih plinov, saj je inspiracijska zaklopka zaprta (Slika 1). Ko se dihalni balon napolni do svoje nazivne vrednosti, se višek plinov vodi skozi razbremenilni ventil v odsesavanje. Na anestezijski delovni postaji Dräger Primus je v tem primeru razbremenilni ventil v položaju, označenem z oznako »Spont« (popolnoma odprt ventil).



**Slika 3:** Zaščita v obliki kletke na notranjem delu spojke 22F.

Med spontanim dihanjem je balon vizualni monitor in se med vdihom bolnika nekoliko izprazni, med izdihom pa se ponovno napolni. Balon je prav tako taktilni monitor, saj zaradi mehke strukture z dotikom čutimo njegovo polnjenje oziroma praznjenje (23). Opazovanje spontanega dihanja je odvisno od več dejavnikov, in sicer od oblike balona, njegove velikosti, stopnje napolnjenosti, pretoka svežih plinov in od bolnikove dihalne prostornine. Natančna ocena bolnikove dihalne prostornine se ne da enostavno oceniti samo z opazovanjem balona (8). Mogoča je le groba ocena dihalne prostornine (12).

Na vratu balona, kjer se nahaja spojka za cev, je posebna plastična kletka (Slika 3), ki onemogoča, da bi navzgor obrnjen in prepognjen balon zamašil spojko in tako preprečil polnjenje s plini.

### 3 Dihalni balon in ročno predihavanje

Med ročno kontroliranim ali asistiranim predihavanjem balon stisnemo, da ustvarimo tlak v krožnem sistemu, kar povzroči pretok dihalnih plinov od balona do bolnika. Razbremenilni ventil je v tem načinu predihavanja le delno zaprt, da dosežemo tlak, potreben za učinkovito predihavanje. Med vdihom

in izdihom se višek plinov odvaja skozi razbremenilni ventil (tlak v dihalnem sistemu je tedaj višji od tlaka nastavljenega na razbremenilnem ventilu). Vzorec smeri pretoka plinov je podoben kot pri spontanem dihanju. Pri asistiranem predihavanju lahko preko taktilnega ali vizualnega monitoriranja balona določimo začetek vdih.

## 4 Varnostni tlak

Anestezijski dihalni balon ima varnostno funkcijo, ki varuje bolnikova pljuča pred barotravmo. Je najbolj podajni del dihalnega sistema. Med polnjenjem prav pri balonu najprej opazimo polnjenje. Pri zaprtem razbremenilnem ventilu se balon napolni preko nazivne prostornine, a mora vseeno vzdrževati varnostni tlak v mejah pod 60 cm H<sub>2</sub>O (7). Laplaceov zakon prikazuje povezavo med površinsko napetostjo balona (T), tlakom znotraj balona (P) in polmerom balona (r). Matematično ga lahko zapišemo z naslednjima enačbama (9-11):

$$T = \frac{P \cdot r}{2}; \quad P = \frac{2 \cdot T}{r};$$

Ko anestezijski balon polnimo z dihalnimi plini preko nazivne prostornine, prične v njem naraščati tlak. Naraščanju tlaka (enota sile na površino: N/m<sup>2</sup>) kljubuje nasprotna sila, ki jo imenujemo površinska napetost ali napetost zidu balona in ima enoto sile na dolžino (N/m).

Na Sliki 4 je prikazano, kako se je balon napihnil preko nazivnih vrednosti prostornine pri popolnoma zaprtem razbremenilnem ventilu (70 cm H<sub>2</sub>O). Polmer balona (r) med napihovanjem narašča, pri tem narašča tudi površinska napetost (T), tlak pa ostaja konstanten, kar je razvidno iz enačbe Laplaceovega zakona. V tem primeru smo na delovni postaji Dräger Primus izmerili tlak, ki je znašal 34 cm H<sub>2</sub>O. Balon proizvajalca In-





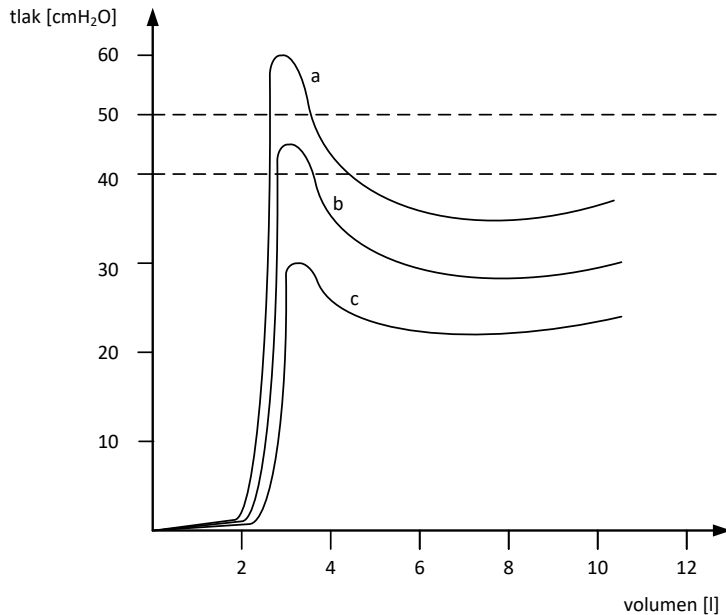
**Slika 4:** Varnostna funkcija balona – vzdrževanje konstantnega tlaka v dihalnem sistemu (primer na sliki: tlak znotraj balona: 34 cm H<sub>2</sub>O, premer balona: 66 cm, prostornina balona: 150 litrov).

*tersurgical* smo pred poskusom nekoliko raztegnili, tako da smo ga napihili na nekajkratnik nazivne prostornine (2 l). Preden je balon počil, smo zasledili premer 66 cm, kar je ustrezalo prostornini približno 150 litrov.

Pri ugotavljanju skladnosti s standardom ISO 5362 balon napolnijo z vodo pri štirikratni nazivni vrednosti. Pri tem tlak ne sme biti manjši od 3 kPa = 30 hPa (približno 30 cm H<sub>2</sub>O). Tlak v tem preizkusu prav tako ne sme preseči vrednosti 6 kPa = 60 hPa (približno 60 cm H<sub>2</sub>O). Pri polnjenju balona z zrakom se uporabi dvakratna nazivna prostornina,

s katero napolnijo balon. Zahtevani sta enaki meji tlaka (med 3 kPa in 6 kPa) (7). Slika 5 prikazuje približni potek spreminjanja tlaka v balonu, medtem ko ga polnimo z anestezijskimi dihalnimi plini (12-13). Krivuljo razdelimo v tri faze. V prvi zasledimo začetno polnjenje do nazivne vrednosti (2 l) z neznatnim naraščanjem tlaka. Ko prostornina doseže nazivno, prične tlak strmo naraščati in kmalu doseže najvišjo vrednost (majhen polmer balona, visok tlak). Sledi tretja faza, v kateri tlak zavzame plato in je sorazmerno konstanten. Vsi dihalni baloni po začetnem visokem tlaku zavzamejo sprostitev tlaka po preteku 1–5 sekund (13). Ta tlak je varovalni tlak pred barotravmo in ne sme preseči 40–50 cm H<sub>2</sub>O (14). Balon počí, ko je površinska napetost tako visoka, da material več ne zdrži obremenitve. Fizične karakteristike balonov se med proizvajalci nekoliko razlikujejo (13). Nekateri dosežejo visoke začetne vrednosti tlaka (Slika 5, krivulja a), drugi so bolj podajni, zato so tlaki manjši (Slika 5, krivulja b). Balon pa ne ustreza standardu, če ne doseže minimalnega zahtevanega tlaka 30 cm H<sub>2</sub>O (Slika 5, krivulja c).

Sodobne anestezijske delovne postaje imajo dodatni varnostni avtomatski mehanizem pred barotravmo pri ročnem načinu delovanja. Na anestezijski delovni postaji Dräger Primus se aktivira alarm najvišje prednosti (*angl.* pressure high), če se pri kontinuiranem napihovanju balona preseže tlak, ki ga določi kot zgornjo mejo alarma uporabnik (15). Če je tlak pod zgornjo mejo alarma, se sproži alarm kontinuiranega pretoka (*angl.* continuous pressure), ki prav tako predstavlja najvišjo prioriteto (rdeča barva), pri kateri je potrebno takojšnje ukrepanje. Ta alarm se mora glede na standarde sprožiti po 15 sekundah kontinuiranega tlaka (23). V zadnjem varnostnem mehanizmu aparat sam zmanjša tlak, in sicer



**Slika 5:** Potek tlaka pri polnjenju balonov z različnimi podajnostmi. Najbolj podajni (c) ne doseže zahtevanega tlaka kot pri balonu z nizko podajnostjo materiala (a). Navadno baloni ne presežejo tlaka v mejah med 40 in 50 cm H<sub>2</sub>O (b) (Vir: prirejeno po 13).

tako, da avtomatsko razbremeni dihalni sistem. Aparat nas tedaj opozori z alarmom prioritete srednje stopnje (modra barva) in z izpisom (*angl.* pressure relief). Za razliko od prejšnjega alarma, se ta sproži po dvakrat daljšem času, tj. po 30 *sekundah*. Trajanje razbremenitve je odvisno od nastavljenega pretoka svežih plinov. Pri pretoku v mejah med 14 l/min in 18 l/min razbremenitev traja 30 sekund, nato se prekine, in tlak zopet počasi narašča 30 sekund. Sledi ponovno odpiranje ventila. Sistem se razbremeni v 30 sekundah. Ko smo nastavili manjše pretoke (pod 14 l/min), je razbremenitev trajala krajši čas, in sicer 1–3 sekunde. Omenjen kvantitativni eksperiment smo z večkratnimi ponovitvami izvedli v Simulacijskem centru Medicinske fakultete Maribor. Uporabljali smo anestezijsko delovno postajo Dräger Primus in simulator bolnika METI HPS.

Čim višji so nastavljeni pretoki svežih plinov, tem hitreje se v dihalnem sistemu vzpostavi visok tlak pri zaprtem razbre-

menilnem ventilu. Pretoki, višji od 8 l/min, lahko ustvarijo visok nevarni tlak v 20–30 sekundah (16).

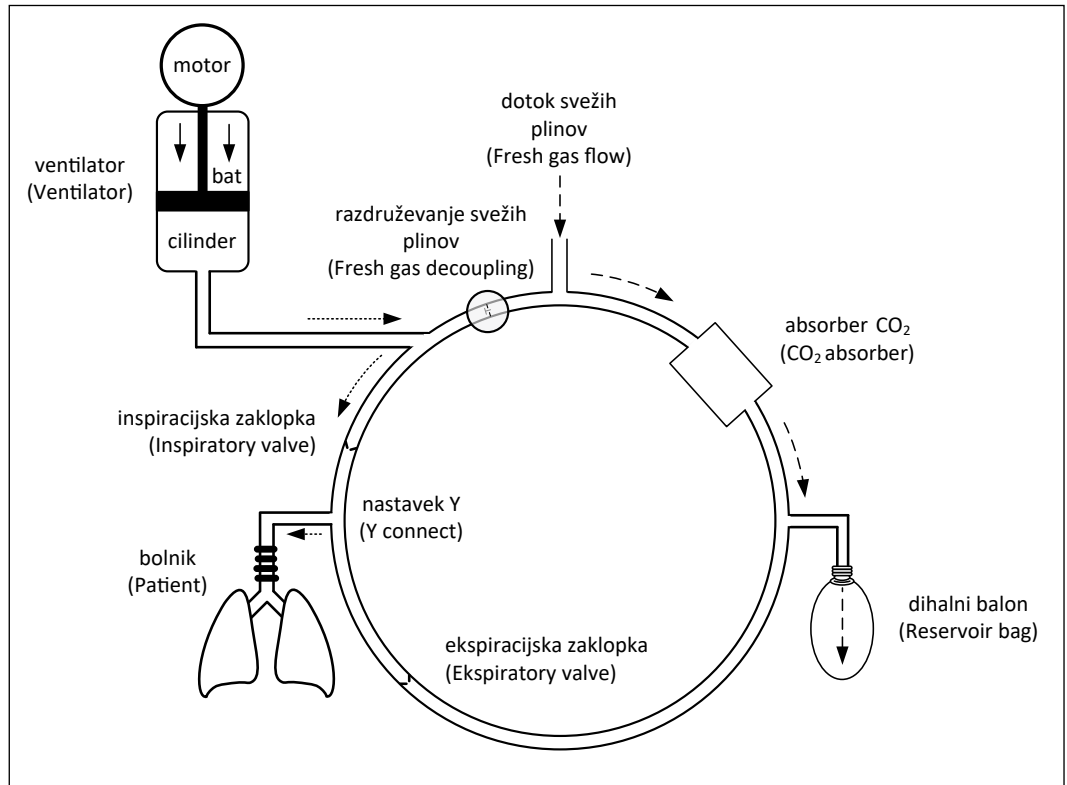
## 5 Dihalni balon in mehanično predihavanje

Dihalni balon je v tradicionalnem krožnem dihalnem sistemu med mehničnim predihavanjem izoliran s posebnim preklopnikom (Slika 1). Pri takšni zasnovi položaja komponent opazimo neujemanje med nastavljenim dihalnim volumnom in dejanskim, ki nastopi zaradi združevanja plinov. Združijo se sveži dihalni plini iz dovoda svežih plinov in plini iz mehničnega ventilatorja. Primer: pri nastavljeni dihalni prostornini 500 ml in frekvenci predihavanja 10 min<sup>-1</sup> ter razmerjem med vdihom in izdihom I:E=1:2, traja vdih 2 sekundi. Če je pretok svežih plinov 6 l/min (100 ml/sekundo), se pri vdihu zeleni dihalni prostornini (500 ml) prišteje še dodatnih 200 ml. Dobimo združeno prostornino 700 ml, ki jo dovedemo bolniku (200 ml več, kot smo določili na ventilatorju). Pri večini sodobnih anestezijskih ventilatorjev je prostornina, ki jo dostavimo bolniku, neodvisna od pretoka svežih plinov. Obstajajo trije pristopi za reševanje tega problema:

- razdruževanje svežih plinov (*angl.* fresh gas decoupling),
- kompenzacija svežih plinov (*angl.* fresh gas compensation),
- prekinitev dovoda svežih plinov (*angl.* fresh gas interruption) (17).

V nadaljevanju se bomo omejili na razdruževanje svežih plinov, ki je shematsko prikazano na Sliki 6. Ta način delovanja od omenjenih treh pristopov edini vpliva na dihalni balon med mehničnim predihavanjem. Slika 6 prikazuje pretoke dihalnih plinov med vdihom, ko je zaklopka razdruževanja svežih plinov

**Slika 6:** Razdruževanje svežih plinov med vdihom.



zaprta. Plini iz ventilatorja se usmerijo v inspiracijski krak do bolnika. Zaradi zaprte zaklopke razdruževanja, se pretok svežih plinov ne prišteje pretoku iz ventilatorja, ampak se skozi absorber usmeri v dihalni balon. Dihalni balon je v tej funkciji zbiralnik svežih plinov, podobno kot v ročnem načinu delovanja. Med fazo izdiha motor v električnem ventilatorju pomakne bat navzgor ter potegne v cilinder sveže pline skupaj s plini iz dihalnega balona in ekspiracijskega kraka dihalnega sistema.

In kje lahko nastopijo težave? Možna sta dva scenarija. Pri prvem se lahko s sistema nepričakovano sname balon, ki je poškodovan ali preluknjan, zato iz njega uhajajo plini. Dotok svežih plinov, ki polni balon, nam med vdihom uhaja v okolico in operacijska soba se kontaminira z anestetiki. Med izdihom pa ventilator skozi poškodovani balon potegne zrak iz okolice. Zaradi mešanja zraka iz atmosfere z dihalnimi plini prihaja do redčenja. Bolnik tedaj dobi nižji delež

kisika pri vdihu ( $F_{I}O_2$ ) in nižji delež inhalacijskega anestetika. Sandberg in Kaiser (18) sta leta 2004 opisala primer na anestezijski delovni postaji Drager Fabius GS (19), v katerem je poseg na bolniku že potekal, ko so ugotovili, da je alergičen na lateks, zaradi česar so dihalni balon iz lateksa zamenjali z balonom brez lateksa. Zamenjani balon je imel luknjo, a uhanja skozi balon niso mogli ugotoviti, saj aparat ne more izvajati preverjanja med mehničnim predihavanjem. Nekaj minut po zamenjavi so ugotovili, da je balon prazen, deleži kisika, dušikovega oksidula in inhalacijskega anestetika pa so se zmanjšali. Napako na balonu so ugotovili, ko so iz mehničnega predihavanja preklopili na ročno predihavanje. Med izdihom je v balon pritekel zrak iz okolice in razredčil dihalne pline, zato so se deleži  $O_2$ ,  $N_2O$  in anestetika zmanjšali. Kljub luknji v balonu se alarm na aparatu ni sprožil. Zato moramo biti pozorni na vrednosti, ki jih dobimo iz monitoriranja dihalnih plinov.

Podoben primer leta 2013 opisujejo Kuruma s sodelavci, pri katerem je prišlo do težav zaradi menjave absorberja CO<sub>2</sub> med kirurškim posegom (20). Novejše različice absorberjev, kot na primer Dräger CLIC, omogočajo, da ga lahko zamenjamo med delovanjem aparata. Dotok svežih plinov je bil v tem primeru nastavljen na 4 l/min, koncentracija sevoflurana na 1,5 %. Pri menjavi absorberja se je znižal delež kisika v vdihanem zraku iz F<sub>1</sub>O<sub>2</sub>=38 % na 34 %, znižal se je delež sevoflurana z 1,4 % na 1,1 % in povečal se je bispektralni indeks (BIS), kar je kazalo na nižjo globino anestezije. V operacijski sobi je osebe zaznalo vonj po anestetiku. Tudi ta primer nam kaže, da moramo biti pozorni na dihalni balon med mehničnim predihavanjem.

V drugem potencialnem scenariju obravnavamo primer, ko je dihalni balon premalo napolnjen. V takem primeru nastopi težava med izdihom, kadar ventilator poskuša povleči pline iz balona, ki je prazen. Scenarij smo v Simulacijskem centru simulirali na anestezijski delovni postaji Dräger Primus in na METI HPS-simulatorju (CAE Healthcare, Sarasota, Florida), pri katerem smo v ročnem načinu spontanega dihanja nastavili pretok svežih plinov na skrajno nizko možno vrednost 200 ml/min zraka (42 ml/min kisika). Simulator je imel nastavljeno porabo kisika 250 ml/min, dostava pa je bila kar šestkrat manjša (pod metaboličnim pretokom). Delni tlak kisika v balonu je zaradi večje porabe kot dostave padal in dihalni balon se je skrčil. Aparat je opozarjal z alarmom nizkega pretoka svežih plinov (*angl.* FG LOW OR LEAK) in nizkega deleža kisika v vdihu (*angl.* INSP O<sub>2</sub> LOW). Ko je simulator skušal pri vdihu povleči pline iz praznega balona, se je ustvaril negativni tlak in se sprožil alarm (*angl.* PRESSURE NEGATIVE).

Pri tem alarmu proizvajalec priporoča, da se poveča pretok svežih plinov in po potrebi uporabi izpiranje dihalnega sistema z visokim pretokom (*angl.* Oxygen flush). Negativni tlak se je ustvaril zaradi spontanega dihanja simulatorja. Negativni tlak bi dobili tudi pri spontanem dihanju, in sicer v primeru, če se prepogne cev (ali obstrukcija cevi), na katero je spojen anestezijski dihalni balon. V primeru mehničnega predihanja bi zasledili samo alarm (*angl.* FG LOW OR LEAK), saj bi se bat električnega ventilatorja med vlekom plinov iz balona ustavil in ne bi ustvaril negativnega tlaka (velja za anestezijsko delovno postajo Dräger Primus).

Vinay s sodelavci leta 2015 opisujejo primer na anestezijski delovni postaji Dräger Primus (21), ko so devetletnemu otroku med operacijo spremenili položaj glave in vratu, pri čemer se je pomaknila dihalna cevka. Zaradi pomika tesnilni mešiček ni več tesnil in dihalni plini so pričeli uhajati. Dihalni volumen (V<sub>T</sub>) je padel z 280 ml na 200 ml. Sprožil se je alarm (*angl.* LOW FRESH GAS FLOW). Bolnik je bil na mehničnem predihavanju z nastavljenim nizkim pretokom svežih plinov (1 l/min). Deleži kisika, oksidula in inhalacijskih anestetikov se ob nastopu alarma niso spremenili. Ugotovili so napako na mešičku in ga ponovno napihnil. Prav tako so ugotovili, da se je anestezijski dihalni balon izpraznil. Sledilo je aktiviranje visokega pretoka kisika (*angl.* oxygen flush), in zaradi mešanja dihalnih plinov s 100-odstotnim kisikom, se je delež kisika v inspiriju (F<sub>1</sub>O<sub>2</sub>) povečal s 40 % na 69 %. Hkrati je padel delež izoflurana z 1,0 % na 0,7 %. Zasledili so padec deleža dušikovega oksidula. Avtorji v razpravi povzemajo napačne zaključke, da ventilator zaradi praznega dihalnega balona med izdihom ustvari negativni tlak, ki odpre ventil na samem ventilatorju in omogo-



či vstop zunanjega zraka iz operacijske sobe. Zato so pričakovali, da se bodo plini pri mešanju z zrakom redčili, kar pa se ni zgodilo. Anestezijski ventilator na sistemu Dräger Primus namreč nima ventila, ki bi se odprl, če bi se ustvaril negativni tlak (avtorji so mislili, da ga ima). Električni bat se pri izdihu ne pomakne do takšnih vrednosti, ki bi ustvarile negativni tlak.

Nekoliko drugačna zaščita pred negativnim tlakom je na aparatih Dräger Fabius GS, pri katerih se ventil (*angl.* NEGATIVE PRESSURE RELIEF) odpre, kadar se ustvari negativni tlak med  $-7,5 \text{ cm H}_2\text{O}$  in  $-9 \text{ cm H}_2\text{O}$ . Tedaj se v cilindru ventilatorja spusti zrak iz ozračja, ki dihalne pline razredči (22).

Razdruževanje svežih plinov je mogoče le pri uporabi ventilatorja z električnim pogonom (bat in cilindri) ali descendentnega ventilatorja (viseči meh). Pri obeh je pri izdihu namreč mogoče doseči negativni tlak, ki potegne pline iz balona. Pri ascendentnem ventilatorju (stoječi meh) se razdruževanje svežih plinov ne more uporabiti, ker je na koncu izdih pozitivni tlak (5,22).

Pri uporabi visokega pretoka kisika (*angl.* oxygen flush) med mehničnim predihavanjem je treba biti skrajno previden. Aktivacija visokega pretoka (35–75 l/min) med vdihom lahko povzroči barotravmo pri uporabi aparatov, ki nimajo vgrajenega razdruževanja svežih plinov. Pri sistemih z razdruževanjem svežih plinov pa se visok pretok med vdihom usmeri v dihalni balon in ne v bolnika. V tem primeru lahko uporabimo visoki pretok tudi med vdihom (23).

Sisteme razdruževanja svežih plinov vsebujejo naslednje anestezijske delovne postaje: Dräger Fabius GS, Dräger Narkomed 6000, Dräger Narkomed 6400, Dräger Primus, Dräger Apollo, Dräger Zeus in Datascope Anestar (22,24).

Kompenziranje svežih plinov (*angl.* fresh gas compensation) zaradi reševanja problema neujemanja med nastavljenim dihalnim volumnom in dejanskim najdemo na delovnih postajah GE Datex-Ohmeda Aestiva/5, GE Datex-Ohmeda ADU Carestation, GE Aisys CS<sup>2</sup>, GE Avance CS<sup>2</sup>, GE Aespire 7100/7900 SmartVent. Ti sistemi izvajajo kontinuirano merjenje volumnov in pretokov dihalnih plinov pri vdihu in izdihu, ter sproti prilagajajo volumen, ki ga ustvari ventilator (22). Dihalni balon teh sistemov nima funkcije pri kontroliranem mehničnem predihavanju.

Tretja oblika reševanja neujemanja dihalnih prostornin je sistem prekinitve dovoda svežih plinov pri vdihu (*angl.* fresh gas interruption). Ta metoda se uporablja v anestezijski delovni postaji Dräger Julijan (25). Tudi v tem primeru med mehničnim kontroliranim predihavanjem balon nima aktivne vloge.

## 6 Zaključek

Pri uporabi sodobnih anestezijskih delovnih postaj moramo v določeni meri poznati njihovo delovanje, da zagotovimo varnost bolnika. Sodobni sistemi imajo vgrajene nove tehnologije, ki skrbijo za natančno dovajanje dihalnih prostornin, vendar pri tem obstajajo razlike med tradicionalnimi sistemi. Pri sistemih z razdruževanjem dihalnih plinov želimo poudariti, da je balon med mehnično ventilacijo *aktivna komponenta dihalnega sistema* in predstavlja zbiralnik dihalnih plinov. Pomembno je, da ga opazujemo, še posebej v primeru, če se aktivira alarm negativnega tlaka (*angl.* NEGATIVE PRESSURE) ali alarm nezadostnega pretoka svežih plinov (*angl.* FRESH GAS LOW). Dihalni balon ima tudi pri mehničnem predihavanju funkcijo monitoriranja.

## Literatura

1. Manohin A. Anestzijski aparat, anestzijski dihalni sistemi in anestzijski ventilatorji. In: Manohin A, Hribar-Habinc M, Paver-Eržen V, ur. *Respiracija: kontinuirano podiplomsko izobraževanje iz anestziologije (CME): osmi tečaj FEEA*. Ljubljana: Slovensko združenje za anestziologijo in intenzivno medicino, Slovensko zdravniško društvo; 2000. p. 27–59.
2. Manohin A, Križmarić M. Temeljne fizikalne osnove v anestziologiji, anestzijski aparat, anestzijski dihalni sistemi in anestzijski ventilator. Maribor: Visoka zdravstvena šola; 2006.
3. Parthasarathy S. The Closed Circuit And The Low Flow Systems. *Indian J Anaesth.* 2013;57(5):516–524.
4. Dorsch JA, Dorsch SE. The breathing system: general principles, common components, and classifications. In: Dorsch JA, Dorsch SE, ur. *Understanding anesthesia equipment*. 5th. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2008. p. 191–208.
5. Riutort KT, Eisenkraft JB. The Anesthesia Workstation and Delivery Systems for Inhaled Anesthetics. In: Barash P, Cullen BF, Stoelting RK, Cahalan M, Stock MC, Ortega R, ur. *Handbook of clinical anesthesia*. 7th. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 641–696.
6. Admas AP. Breathing system disconnections. *British Journal of Anaesthesia.* 1994;73(1):46–54.
7. International Standards Organization. ISO 5362:2006. Anesthetic reservoir bags. In: ISO 11.040.11: Anaesthetic, respiratory and reanimation equipment; 2006.
8. Davey AJ. Breathing systems and their components. In: Davey AJ, Diba A, ur. *Ward's Anaesthetic Equipment*. 6th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2012. p. 107–138.
9. Davis PD, Kenny GNC. Basic physics and measurement in anaesthesia. 5th ed. London: Butterworth-Heinemann; 2010, p. 11–22.
10. Middleton B, Phillips J, Thomas R, Stacey S. *Physics in anaesthesia*. Banbury, Oxfordshire: Scion Publishing; 2012. p. 9–19.
11. Cross M, Plunkett E. *Physics, pharmacology and physiology for anaesthetists*. 2nd ed. Cambridge: University press; 2014. p. 57–58.
12. Walker SG, Smith TC, Sheplock G, Acquaviva MA, Horn N. Breathing circuits. In: Ehrenwerth J, Eisenkraft JB, Berry JM. *Anesthesia equipment: principles and applications*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2013. p. 95–124.
13. Johnstone RE, Smith TC. Rebreathing bags as pressure-limiting devices. *Anesthesiology.* 1973;38(2):192–194.
14. Al-Shaikh B, Stacey S. *Essentials of Anaesthetic Equipment*. London: Churchill Livingstone Elsevier; 2008. p. 55–75.
15. Instructions for Use – PRIMUS Anesthesia Workstation SW 4.n. Dräger Medical AG & Co. KG. Moislinger Allee 53–55 D-23542 Lübeck: Dräger Medical; 2007.
16. Blanshard HJ, Milne MR. Latex-free reservoir bags: exchanging one potential hazard for another. *Anaesthesia.* 2004;59:177–179.
17. Areti YK. Anesthesia ventilators. In: Areti YK, Kodali BS, ur. *Principles of Anesthesia Equipment*. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2016. p. 60–71.
18. Sandberg WS, Kaiser S. Novel breathing circuit architecture: new consequences of old problems. *Anesthesiology.* 2004;100(3):755–6.
19. Instructions for Use – FABIUS GS Anesthesia Workstation SW 3.n. Dräger Medical AG & Co KG (editorial). Moislinger Allee 53–55 D-23542 Lübeck. 3th. Ed. Lübeck: Dräger Medical; 2006.
20. Kuruma Y, Kita Y, Fujii S. Exchanging a CLIC Absorber in the Middle of the Surgery. *Anesthesia Patient Safety Foundation (APSF).* 2013;27(3):64–5.
21. Vinay B, Gopalakrishna KN, Sriganesh K. Low-Flow Anesthesia, Low Fresh Gas Flow, and Oxygen Flush: An Interesting Interplay. *AANA journal.* 2015;83(3):201.
22. Eisenkraft JB. Anesthesia Delivery System. In: Longnecker D, Brown DL, Newman MF, Zapol W, ur. *Anesthesiology*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education; 2012; p. 616–662.
23. Venticinque SG, Andrews JJ. Inhaled Anesthetics: Delivery systems. In: Miller RD, Cohen NH, Riksson LI, Fleisher LA, Wiener-Kronish JP, Young WL, ur. *Miller's anesthesia*. 8th. ed. Philadelphia: Elsevier Saunders Health Sciences; 2015. p. 752–820.
24. Wallon G, Bonnet A, Guérin C. Delivery of tidal volume from four anaesthesia ventilators during volume-controlled ventilation: a bench study. *Br J Anaesth.* 2013;110(6):1045–51.
25. Areti YK, Garcia ER. Anesthesia ventilators. In: Vacanti C, Segal S, Sikka P, Urman R, ur. *Essential clinical anesthesia*. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. p. 138–143.