

Revijalni članak

VISOKOFREKVENTNA DŽET VENTILACIJA

Dušanka Janjević¹, Vladimir Dolinaj¹,
Marijana Karišik², Dejan Marković^{3,4},
Nevena Kalezić^{3,4}

¹ Služba za anesteziju, Klinika za bolesti uva, grla i nosa, Klinički centar Vojvodine, Novi Sad

² Odeljenje anestezije i reanimacije, Institut za bolesti djece, Klinički centar Crne Gore, Podgorica

³ Centar za anestezilogiju i reanimatologiju Kliničkog centra Srbije, Beograd

⁴ Medicinski fakultet Univerziteta u Beogradu

HIGH FREQUENCY JET VENTILATION

Dušanka Janjević¹, Vladimir Dolinaj¹,
Marijana Karišik², Dejan Marković^{3,4},
Nevena Kalezić^{3,4}

¹ Department of Anesthesiology, Clinic for Ear, Nose and Throat, Clinical Center of Vojvodina, Novi Sad

² Department of Anesthesia and Reanimation, Institute of Children's Diseases, Clinical Center of Montenegro, Podgorica

³ Center for Anesthesiology and reanimatology, Clinical Center of Serbia, Belgrade

⁴ School of Medicine University of Belgrade

Sažetak. Visokofrekventna ventilacija mlazom (VFVM) je uvedena u kliničku praksu sa ciljem da omogući osnovne zahteve endoskopske mikrolaringealne hirurgije: pristupačno i pregledno operativno polje, nepokretne glasnice, nesmetane hirurške manipulacije pri čemu ne dolazi do ulaska krvi, sekreta u disajni put. Predstavlja alternativnu tehniku ventilacije za koju je karakteristično: isporučivanje gasa iz izvora, koji je pod visokim pritiskom, velika frekvencija, disajni volumen koji je manji ili jednak mrtvom prostoru, aktivan inspirijum, pasivan ekspirijum. U odnosu na konvencionalnu ventilaciju, džet ventilator isporučuje kiseonik ili mešavinu kiseonika i vazduha preko uskolumenskih provodnika ili injektora u otvoren disajni put. Primena VFVM je ograničena na dijagnostičke i hirurške procedure na larinksu, disajnim putevima i plućima kod dece i odraslih. Specifične indikacije za primenu transtrahealne džet ventilacije su: hitna stanja (nemoguća intubacija, nemoguća ventilacija) i profilaktička primena transtrahealne ventilacije mlazom (TTVM) kada se očekuje ili je već prepoznat problematičan disajni put u hirurgiji glave i vrata. Apsolutna kontraindikacija za primenu tehnike VFVM je visok stepen opstrukcije, ekstremna gojaznost i oboleli od tuberkuloze, hepatitsa C, nemogućnost retrofleksije glave bolesnika. VFVM ima brojne prednosti i nedostatke. Komplikacije primene VFVM nastaju usled prisustva prekomerno visokog pritiska u disajnim putevima, produžene upotreba visoke koncentracije kiseonika, neadekvatna vlaženja i zagrevanje inspiratornog gasa, upotrebe uzanog katetera za isporučivanje gasova i korišćenje džet ventilacije

Summary. High frequency jet ventilation (HFJV) was introduced into clinical practice in order to provide fundamental requirements of endoscopic microlaryngeal surgery: accessible and visible operating field, motionless vocal cords, smooth surgical manipulation during which blood and secretion do not enter into airway. This alternative ventilation technique is characterised by: delivering a gas from source which is under high pressure, high frequency; tidal volume (TV) which is lower or equal to death space, active inspirium and passive expirium. Compared to conventional ventilation, jet ventilator delivers oxygen or mixture of oxygen and air through narrow lumen conductor or injectors into opened airway. The use of HFJV is limited on diagnostic and surgical procedures on the larynx, airways and lungs in paediatric and adult population. Specific indications for the use of transtracheal jet ventilation are: emergencies (can't intubate, can't ventilate) and prophylactic use of transtracheal jet ventilation (TTJV) when difficult airway is expected or already recognized in head and neck surgical procedures. Absolute contraindications to HFJV technique use are: high level of obstruction, extreme obesity and patients with tuberculosis, hepatitis C infection and inability to perform retro flexion of patients head. HFJV has numerous advantages and disadvantages. Complications of HFJV are caused by presence of excessively high pressure in the airways, prolonged use of high concentrations of oxygen, inadequate humidification and warming of inspired gases, the use of narrowed catheters for gas delivering and usage of HFJV by inexperienced medical

od strane nestručnog osoblja.

Ključne reči: visokofrekventna džet ventilacija, mikrolaringealna hirurgija, razmena gasova, anestezija

stuff.

Key words: high frequency jet ventilation, microlaryngeal surgery, gas exchange, anaesthesia

Uvod

Visokofrekventna džet (jet) ventilacija ili visokofrekventna ventilacija mlazom (VFVM) je uvedena u kliničku praksu od strane Klajna i grupe autora 1974. godine, sa ciljem da omogućiti osnovne zahteve endoskopske mikrolaringealne hirurgije: pristupačno i pregledno operativno polje, nepokretne (mirne) glasnice, nesmetane hirurške manipulacije pri čemu ne dolazi do ulaska krvi, sekreta u disajni put^{1,2}. U toku hirurgije u disajnim putevima često nije moguće postići kompletno zaptivanje između endotrahealnog tubusa (ETT) sa kafom i zida disajnog puta, što je neophodno kada se primenjuje kontrolisana mehanička ventilacija (KMV). Ovi problemi su naročito prisutni u laringomikroskopskoj hirurgiji gde u većini slučajeva ETT kompromituje vidljivost i ograničava hirurške manipulacije na larinksu, posebno u predelu interaritenoidne incizure. Pored toga ETT može da pomera ili skriva patološke promene u larinksu i traheji što još više otežava hirurški rad. U pojedinim slučajevima, patološki procesi na larinksu onemogućavaju plasiranje ETT ili je moguće plasirati ETT, ali samo malog unutrašnjeg prečnika (≤ 6.0 mm) što ima za posledicu lošu gasnu razmenu i pojava hipoksije i hiperkapnije³⁻⁶.

Visokofrekventna ventilacija mlazom (VFVM) predstavlja alternativnu tehniku ventilacije za koju je karakteristično: isporučivanje gasa iz izvora, koji je pod visokim pritiskom, velika frekvencija (60-1500/min), disajni volumen (2-5 ml/kg), koji je manji ili jednak mrtvom prostoru, pri čemu je inspirijum aktivan, a ekspirijum je pasivan^{3,4}. U odnosu na konvencionalnu ventilaciju (KV) džet ventilator isporučuje kiseonik ili mešavinu gasova (kiseonik i vazduh) preko uskolumenskih provodnike ili injektore u otvoren disajni put tj. porcije gasa se insuliraju velikim protokom pretežno u centralnom delu disajnog puta, dok se istovremeno odvija i proces izlaženja gasa prema spolja (otvoren disajni put)^{7,8}.

Tokom džet ventilacije čestice gasa se kreću izuzetno velikom brzinom kroz provodnik pri čemu nastaje karakterističan zvuk, što je i poslužilo

kao osnovu za uvođenje pojma džet ili mlaz (jet)⁹.

Uprkos svojim prednostima u endoskopskoj hirurgiji, laringologiji, grudnoj hirurgiji i jedinica-ma intenzivne terapije, ova tzv. beztubusnu ventilaciju mlazom za koju je potrebna opšta anestezija nije široko prihvaćena, prvenstveno od strane anesteziologa. Nedovoljna raširenost ove tehnike ventilacije, pre svega, je uslovljena nedovoljnim razumevanjem mehanizma transporta i razmene gasova i očekivanih rezultata oksigenacije i eliminacije CO₂ u otvorenom disajnom putu¹⁰⁻¹³.

Indikacije

Primenu VFVM je ograničena na dijagnostičke i hirurške procedure na larinksu, disajnim putevima i plućima kod dece i odraslih. U disajnim putevima u odnosu na pristup, VFVM se može primenjivati: transtrahealno (infraglotički i supraglotički pristup), transkutano, kombinovano (translaringealno + transkutano) i preko traheostome^{14,15}.

Najznačajnija grupa indikacija u laringologiji kod kojih je VFVM široko prihvaćena i pokazala se izuzetno korisnom su: laringealne stenozе različite etiologije, tumori larinksa i fonohirurgija. Ova tehnika ventilacije predstavlja pretpostavku za endoskopske intervencije na larinksu bez traheotomije, koja je do skoro bila zlatni standard za uspostavljanje i održavanje disajnog puta. U fonohirurgiji daje se prednost džet ventilaciji sa infraglotičkim pristupom zato što vibracije tkiva, nastale zbog pulsirajuće vazdušne struje mlaza gasa, kada se koristi supraglotički pristup predstavljaju smetnju kod ovih finih, preciznih mikrihirurških zahvata. Sa infraglotičkim pristupom se postižu mirne glasnice i bolji hirurški rezultati¹⁶⁻²².

U hirurgiji traheje, plasiranje trahealnih odnosno, bronhijalnih stentova, primena VFVM sa supraglotičkim pristupom, omogućava kontinuiranu ventilaciju pri čemu se ne ugrožava vidljivost operativnog polja. Specifične indikacije za primenu transtrahealne džet ventilacije su: hitna stanja (nemoguća intubacija, nemoguća ventilacija) kada je potrebno uspostaviti zadovoljavajuću oksigenaciju do definitivnog uspostavljanja disajnog puta i pro-

filaktička primena transtrahealne ventilacije mlazom (TTVM) kada se očekuju ili je već prepoznat problematičan disajni put u hirurgiji glave i vrata²³⁻²⁵.

U poslednjih desetak godina zbog značajnih prednosti, koje se ogledaju u smanjenom krvarenju u predelu glave i vrata, smanjenim pokretima dijafragme, VFVM nalazi primenu i u endoskopskoj hirurgiji sinusa, urilogiji, kardiohirurgiji²⁶⁻²⁹.

Kontraindikacije

Apsolutna kontraindikacija za primenu tehnike VFVM je visok stepen opstrukcije (površina poprečnog preseka disajnog puta manja za 20 % u odnosu na normalnu veličinu). U ovu grupu apsolutnih kontraindikacija spadaju bolesnici sa ekstremnom gojaznošću i oboleli od teških infektivnih bolesti kao što je tuberkuloza, hepatitis C. Problemi, koji se odnose na teške infektivne bolesti više su vezani za osoblje u operacionoj sali, zato što je primena džet ventilacije vezana za „otvoren disajni put“ i zagađenje operacione sale. U apsolutnu kontraindikaciju za primenu ove tehnike ventilacije spada i nemogućnost postizanja retrofleksije glave bolesnika zbog čega se direktoskop neophodan uza ovaj tip ventilacije, ne može na zadovoljavajući način pozicionirati.

U određenim uslovima kada se primenjuje VFVM, procene efikasnosti ventilacije vezani za eliminaciju CO₂ može biti otežana te se javljaju i relativne kontraindikacije vezane za poremećaj difuzije, nehomogene aeracije pojedinih delova pluća, koje pre svega imaju za posledicu otežanu oksigenaciju. Poremećaji plućne funkcije kod bolesnika sa hroničnom opstruktivnom bolešću pluća i restriktivnim bolestima pluća su relativne kontraindikacije za primenu džet ventilacije^{4, 5, 9, 15}.

Prednosti džet ventilacije kod intervencija na disajnim putevima su sledeće:

- skromni zahtevi u pogledu potrebnog prostora;
- pozicioniranje džet katetera kod suženog disajnog puta je lakše u odnosu na pozicioniranje ETT;
- lako plasiranje džet katetera za ventilaciju, pogotovo kada su u pitanju supraglotisne promene;
- odličan hirurški pristup disajnom putu;
- neograničena vidljivost operativnog polja;
- rezultati hirurške intervencije u larinksu su bolji zbog bolje preglednosti istog

- sigurnija primena lasera (nema zapaljivih materijala);

- zaptivenost sistema za ventilaciju u odnosu na spoljašnju sredinu nije neophodna

- mukocilijarni klirens disajnog puta je održan;
- smanjen rizik od aspiracije krvi i delova tkiva zbog stalnog protoka gasa prema spolja;

- neznatan uticaj džet ventilacije na hemodinamiski status;

- optimiziranje oksigenacije i venski povratak u desno srce zbog smanjenog intratorakalnog pritiska što sve zajedno uslovljava manju prokrvljenost operativnog polja i bolje uslove za mikrohirurški rad u hirurgiji glave i vrata;

- pritisak u disajnom putu i plućima niži nego tokom primene KMV;

- kontinuirana ventilacija u toku trahealne hirurgije, omogućena plasiranjem džet katetera distalno od hirurškog polja rada;

- izbegavanje traheotomije zbog anestezioloških razloga;

- mogućnost brzog uspostavljanja oksigenacije u hitnim stanjima kada je neuspela ventilacija i neuspela intubacija, a potrebno uspostaviti oksigenaciju.

Nedostaci džet ventilacije su sledeći:

- slaba mogućnost predviđanja efekata ventilacije;

- vibracije glasnica, posledica velike frekvence isporučenih mlazeva gasa;

- isušivanje tkiva;

- nemogućnost primene inhalacionih anestetika;
- mehaničke karakteristike ventilatora, koje su vezane za mogućnost zagrevanja i vlaženja isporučenog gasa;

- mogućnost rashlađivanja bolesnika;

- opasnost od nastanka barotraume kada je kompromitovan ekspirijum;

- nastanak PEEP-a zbog „air trapping“ ili zbog prepreka u ekspiratornom protoku gasa;

- praćenje ekspiratorne koncentracije CO₂ konvencionalnim kapnometrom nije moguće;

- potencijalna opasnost od aspiracije prilikom prekida ventilacije usled nedostatka zaptivanja disajnog puta;

- zagađenje okolne sredine (operaciona sala).

Mehanizam transporta i razmena gasova u toku džet ventilacije

Tradicionalni koncept i objašnjenje mehanizma transporta i razmene gasova u disajnim putevima nije u potpunosti primenljiv kada se koristi tehnika ventilacije mlazom. Gasni volumen se ne isporučuje putem zatvorenog sistema za disanje kao što je slučaj kod KV, a ekspiratorni gasni volumen se mora, u najvećoj mogućoj meri, nesmetano usmeraviti da izlazi kroz disajne puteve prema spolja¹³.

Osnovni principi, kojima se objašnjava proces transporta i razmene gasova u disajnim putevima počivaju i na fizičkim zakonima o dinamici fluida i tečnosti:

1. Venturi efekat (Venturi or Friction Effect) i Entrainment“. Isporučeni gas, koji protiče kroz suženi otvor katetera velikom brzinom (mlaz gasa), gubi toplotu i stvara distalno od otvora subatmosferski pritisak koji usisava okolni vazduh (Venturi-jev efekat), što znači da je inspiratorni gas mešavina isporučenog gasa i gasa koji je usisan iz okruženja-atmosfere.

2. Koaksijalan protok gasa (Spike Formation/Coaxial Flow Pattern) Koaksijalan protok gasa podrazumeva da se najveća energija svakog isporučenog impulsa gasa nalazi na vrhu (konusno ispupčenje gasnog fronta) i kao takav mlaz gasa prodire u centralni deo disajnog puta. Konusni oblik gasnog mlaza omogućava najveći protok u centralnom delu gornjih disajnih puteva i mešanje gasa u distalnim delovima pluća.

3. Taylor-Type dispersija (Gas Mixing) podrazumeva:

- Potenciranu difuziju;
- Taylor-ova disperzija može da omogući mešanje svežeg i rezidualnog vazduha celom dužinom gasne struje u disajnom putu;
- Turbulentan protok gasa je prisutan u gornjem disajnom putu, a laminarni protok je prisutan na periferiji;
- Turbulentna Taylor-ova disperzija je od velikog značaja za razmenu gasova u traheji i oba glavna bronha.

Transport gasa u disajnim putevima u toku VFVM predstavlja još jednu specifičnost po kojoj se razlikuje od KMV: konvencionalno aplikovan disajni volumen transportuje se preko cele površine poprečnog preseka disajnih puteva do alveolarnog prostora, dok porcija gasa isporučene putem

džet ventilatora prevashodno ulazi u centralnu deo poprečnog preseka disajnih puteva. Skoro u isto vreme dolazi i do otpuštanja-curenja značajnog dela ekspiracionog volumena duž periferije poprečnog preseka prema napolje. Ovaj simultani, bidirekcionni i koaksijalni protok gasova je značajna karakteristika džet ventilacije, a istovremeno i jedan od najefikasnijih mehanizama transporta gasa³⁰⁻³³.

Parametri, koji se odnose na džet ventilaciju i njihovi međusobni odnosi. Određivanje parametara džet ventilacije u velikoj meri zavise od vrste i mogućnosti samog džet ventilatora. Da bi se razumeli principi ventilacije mlazom potrebno je poznavanje unapred zadatih parametara i parametara koji se moraju kontrolisati zato što se menjaju tokom džet ventilacije u zavisnosti od vrste hirurgije, objektivnih kliničkih uslova koji se odnose na samog pacijenta i efikasnosti same ventilacije i oksigenacije.

Od najvećeg značaja je razlikovanje upravo zadatih parametara, koji ostaju ne promenjeni tzv. fiksirani parametri kao što su: radni pritisak RP (working pressure), frekvencija ventilacije-FV (Cycle per minute-CpM), inspiratorno vreme IV (inspiration duration) i koncentracija kiseonika F_{iO_2} u isporučenom mlazu.

Parametri koji su promenjivi i zavise od kliničkih okolnosti vezanih za bolesnike i vrste hirurške intervencije su: koncentracija kiseonika u disajnom putu, volumen isporučenog gasa (V_{jet}) i pritisak u disajnom putu (Paw)^{1, 6, 15, 30}.

Monitoring

Sa uvođenjem u kliničku praksu VFVM, pojavljuju se i problemi vezani za praćenje onih parametara, koji uslovljavaju bezbedno korišćenje ove tehnike ventilacije, zadovoljavajuću oksigenaciju i eliminaciju CO_2 . Problemi koji se vezuju za monitoring su prvenstveno vezani za merenje ekspiratorne koncentracije CO_2 i pritiska u disajnom putu u uslovima kada postoji otvoren disajni put. Tokom VFVM rutinsko, kontinuirano merenje end-tidel koncentracije CO_2 nije moguće. Postoje četiri mogućnosti za praćenje ekspiratorne koncentracije CO_2 koje imaju i svoje nedostatke: intermitentne analize gasova (nije moguće meriti kontinuirano), kapnografija (neophodno je intermitentno prekidanje džet ventilacije), transkutano merenje $PaCO_2$ (manje je precizno, postoji vreme latencije >

1min), kontinuirano intraarterijsko merenje PaCO₂ (invazivno i skupo).

Auskultacija pluća je bila i još uvek je beskorisna metoda, jer je zvuk (buka) koji stvara mlaz gasova kada prolazi kroz uzani džet kateter, isti i nad grudnim košem i abdomenom bez obzira da li je mlaz gasova usmeren u traheju, ezofagus ili u mediastinum^{15, 34, 35}.

Komplikacije VFVM

Specifični rizici i nastanak mogućih komplikacija kada se koristi džet ventilacija zavise od modela džet ventilatora i prisutnih parametara sa kojima ventilator raspolaže, koji se mogu pratiti, načina isporučivanja gasova, upotrebe laserske tehnike. Najozbiljnija komplikacija udružena sa džet ventilacijom je nastanak barotraume pluća udružene sa neadekvatnim ekspirijumom. Pored toga što je džet ventilacija uspešno uvedena u kliničku praksu između ostalog da bi se tretirale komplikacije mehaničke ventilacije, ova tehnika ventilacije je udružena i sa složenim komplikacijama⁴. Komplikacije, koje su udružene sa VFVM i delom prisutne u KV, su posledice: prisustvo prekomerno visokog pritiska u disajnim putevima, produžena upotreba visoke koncentracije kiseonika, neadekvatna vlaženje i zagrevanje inspiratornog gasa, upotreba uzanog katetera za isporučivanje gasova i korišćenje džet ventilacije od strane nestručnog osoblja.

Najozbiljnija komplikacija udružena sa primenom džet ventilacije je barotrauma pluća nastala kao posledica nezadovoljavajućeg ekspirijuma. Mora se naglasiti da komplikacije, koje nastaju u toku džet ventilacije i njihov broj obrnuto je proporcionalan iskustvu anesteziologa i hirurga^{5, 36, 37}.

Zaključak

Uzimajući u obzir sve prednosti i nedostatke, kao i indikacije i kontraindikacije, tehniku anestezije (TIVA) visokofrekventna džet ventilacija je sigurna tehnika ventilacije uz minimalni stepen komplikacija u endoskopskoj hirurgiji disajnog puta. Predpostavke za uspešnu primenu tehnike visokofrekventne džet ventilacije bez komplikacija su visok stepen saradnje između anesteziološkog i hirurškog tima i mogućnost da se u kritičnim situacijama na raspolaganje stavi čitav spektar anestezioloških i hirurških opcija.

Literatura

1. Klain M, Smith RB. Fluidic technology. A discussion and a description of a fluidic controlled ventilator for use with high flow oxygen techniques. *Anaesthesia* 1976;31(6):750-7.
2. Altissimi G, Gallucci L, Prattichizzo L, Arcamone D. Laryngeal Microsurgery Under general Anaesthesia Using Small-bore Endotracheal Tubes: Blood Gas Analysis. *Laryngoscope* 1994;104:325-7.
3. Bourgain JL, Chollet M, Fischler M, Gueret G, Mayne A. Guideline for the use of jet ventilation during ENT and oral surgery. *Ann Fr Anesth Reanim* 2010;29(10):720-7.
4. Ihra G, Gockner G, Kashanipour A, Aloy A. High frequency jet ventilation in European and North America institutions: developments and clinical practice. *Eur J Anesth* 2000;17:418-30.
5. Bacher A, Lang T, Weber J, Aloy A. Respiratory efficiency of subglottic low-frequency, subglottic combined-frequency, and supraglottic combined-frequency jet ventilation during microlaryngeal surgery. *Anesth Analg* 2000;91:1506-12.
6. Bourgain JL, Desruennes E, Fischler M, Coppel DL. Transtracheal high frequency jet ventilation for endoscopic airway surgery: a multicentre study. *Br J Anaesth* 2001;87:870-5.
7. Jaquet Y, Monnnier P, Ravussin P. Complications of difficult ventilation strategies in endoscopic laryngeal surgery. *Anaesthesiology* 2006;104:52-9.
8. Evans KL, Keene MH, Bristow ASE. High-Frequency Jet Ventilation-a review of its role in laryngology. *The Journal of Laryngology and Otology* 1994;108:23-5.
9. Lanzeberger-Schragl E, Doner A, Matthaues G, Zimpfer M, Aloy A. Superimposed High-Frequency Jet Ventilation for Laryngeal and Tracheal Surgery. *Arch Otolaryngol Head and Neck Surg* 2000;26:40-6.
10. Hunsaker DH. Anesthesia for microlaryngeal surgery: The case for subglottic jet ventilation. *Laryngoscope* 1994;104(6):1-30.
11. Brooker CR, Hunsaker DH, Zimmerman AA. A New Anaesthetic System for Microlaryngeal Surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1998;118:55-60.
12. Davies MJ, Hillel AD, Maronian CN, Posner LK. The Hunsaker Mon-Jet tube with jet effective for microlaryngeal surgery. *Can J Anesth* 2009;56:284-90.
13. Biro P, K. Wiedemann. Jetventilation und Anästhesie für diagnostische und therapeutische Eingriffe an den Atemwegen. *Anaesthesist* 1999;48: 669-85.
14. Cook TM, Alexander R. Major complications during anaesthesia for elective laryngeal surgery in the UK: a national survey of the use of high-pressure source ventilation. *Br J Anaesth* 2008;101(2): 266-72.
15. Rezaie-Majd A, Bigenzahn W, Denk DM, Burian M, Kornfehl J. Superimposed high-frequency jet ventilation (SHFJV) for endoscopic laryngotracheal surgery in more than 1500 patients. *Br J Anaesth* 2006;96(5):650-65.
16. Benumof JL, Scheller MS. The importance of

transtracheal jet ventilation in the management of the difficult airway. *Anesthesiology* 1998;769-78.

17. Misioliek H, Knapik P. Comparison of double-lung jet ventilation and one lung ventilation for thoracotomy. *European Journal of Anaesthesiology* 2008;25(1):15-21.

18. Buise M, Van Bommel J, Van Genderen M, Tilanus H, van Zundert A, Gommers D. Two-Lung High-Frequency Jet Ventilation as an Alternative Ventilation Technique During Transthoracic Esophagectomy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009;23(4):509-12

19. Ihra G, Hieber C, Adel S, Kashanipour A, Aloy A. Tubeless high-frequency jet ventilation for laryngotracheal laser surgery in pediatric anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 2000;(44):457-60.

20. Lee JK, Yoon TM, Oh SE, Lim SC. Treatment of exudative tracheitis with acute airway obstruction under jet ventilation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2008;139:606-7.

21. Patel A, Rubin JS. The difficult airway: the use of subglottic jet ventilation for laryngeal surgery. *J of Voice* 2008;33:22-4.

22. Rubin JS, Patel A, Lennox P. Subglottic jet ventilation for suspension microlaryngoscopy. *J of Voice* 2005;19:146-50.

23. Ross-Anderson DJ, Ferguson, Patel A. Transtracheal jet ventilation in 50 patients with severe airway compromise and stridor. *Br J Anaesth* 2011;106(1):140-4.

24. Bouldi M, Bearfield P. Techniques for emergency ventilation through a needle cricithyroidotomy. *Anaesthesia* 2008;63:535-9

25. Bolton F. Emergency jet ventilation in children. *Paediatr Anaesth* 2009;19:425-7.

26. Buise M, Bommel J. Two-Lung High-Frequency Jet Ventilation as an Ventilation Technique During Transthoracic Esophagectomy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009;23(4):509-12.

27. Canty DJ, Dhara SS. High frequency jet ventilation through a supraglottic airway device: a case serious of patients undergoing extra-corporal shock wave lithotripsy. *Anaesthesia* 2009;64:1295-9.

28. Gilbey P, Kukuev Y, Samet A, Talmon Y, Ivry S. The quality of the surgical field during functional endoscopic sinus surgery - The effect of the mode of ventilation: A randomized, prospective, double-blind study. *Laryngoscope* 2009;119:2449-53.

29. Chan KP, Stewart TE. Clinical use of high-frequency oscillatory ventilation in adult patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 2005;33:170-4.

30. Baer GA. Joint Papers on Jet Ventilation 2011. available <http://tampub.uta.fi/tulos.php?tidot=428>

31. Standiford TJ, Morganroth ML. High-frequency ventilation. *Chest* 1989;96:1380.

32. Slutsky AS. High-frequency ventilation. *Intensive Care Medicine* 1991;17:375-6.

33. Slutsky AS, Drazen JM. Ventilation with small tidal volumes. *N Engl J Med* 2002;347:631-7.

34. Gentz BA, Shupak RC, Bhatt SB, Bay C. Carbon dioxide dynamics during apneic oxygenation: the effects of

preceding hypocapnia. *J Clin Anesth* 1998;10:189-94

35. Guenard H, Cros AM, Boundey C. Variations in flow and intraalveolar pressure during jet ventilation: theoretical and experimental analysis. *Resp Physiol* 1989;75:235-45

36. Ihra GC, Tsai CJ, Kimberger O. Brief reports: intrinsic positive end-expiratory pressure at various frequencies of supraglottic jet ventilation in a model of dynamic upper airway obstruction. *Anesth Analg* 2010;111(3):703-6.

37. Ihra GC, Heid A, Pernerstorfer T. Airway stenosis-related increase of pulmonary pressure during high-frequency jet ventilation depends on injector's position. *Anesth Analg* 2009;109(2):461-5.