

Anestezijski aparat

Dušan Mekiš
Mirt Kamenik

Uvod

Anestezijski aparat pripravi zmes dihalnih plinov, ki je sestavljena iz kisika, zraka, dušikovega oksidula in hlapnih anestetikov ter omogoča dovajanje dihalne zmesi bolniku (1, 2). Zgrajen je iz več sestavnih delov, ki so v različnih izvedbah prisotni pri vseh anestezijskih aparatih ne glede na proizvajalca. Anestezijski aparat sestavljajo: jeklenki, reducirna ventila z manometri, pretočni merilniki za kisik, dušikov oksidul in zrak, hlapilniki za hlapne anestetike, anestezijski dihalni sistem, anestezijski ventilator ter sistemi za nadzorovanje delovanja anestezijskega aparata in bolnikovih vitalnih organskih sistemov (slika 1).

Brata Heinrich in Bernhard Draeger sta v sodelovanju z dr. Rothom že leta 1910 sestavila prvi anestezijski aparat, vendar anglo-saksonska literatura navaja angleškega anesteziologa Boyle-a za izumitelja anestezijskega aparata, ki ga je sestavil leta 1917 (3, 4).

I. Preskrba anestezijskega aparata s plini

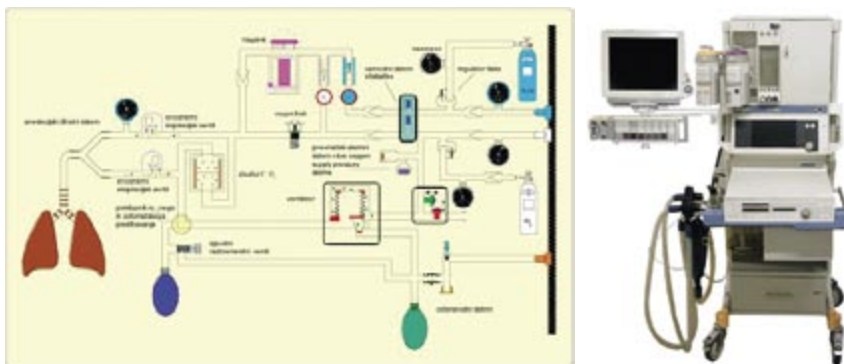
I.1 Osrednja preskrbovalna enota

Dotok plinov v anestezijski aparat poteka preko osrednje preskrbovalne enote (slika 2). Vsak plin ima svojo posebno vtičnico in vtikač s katerim je anestezijski aparat priključen na osrednjo preskrbovalno enoto. Kisik ima šesterokotno, dušikov oksidul (N_2O) okroglo in kvadratno vtičnico in vtikač. Cevi po katerih tečejo plini iz osrednje preskrbovalne enote v anestezijski aparat so različno obarvane. V osrednji preskrbovalni enoti so plini pod pritiskom 3 – 5 barov (pri nas 5 barov) Na osrednji preskrbovalni enoti je tudi priključek za odsesavanje izdihane dihalne zmesi, kar prepreči kontaminacijo zraka v operacijski sobi z anestezijskimi plini.

I.2. Jeklenki

Na modernem anestezijskem aparatu sta jeklenki s kisikom in N_2O zgolj rezerva, če bi bila prekinjena osrednja preskrba s plini. Ob prekinitvi dotoka plinov iz osrednje preskrbovalne enote moramo po opozorilnem signalu vključiti rezervne jeklenke. Iz

Oddelek za anesteziologijo, intenzivno terapijo in terapijo bolečin,
SBM, Ljubljanska 5, 2000 Maribor



Slika 1. Shema anestezijskega aparata (1) in anestezijski aparat Draeger – Cato (4)

minutnega volumna dihanja, odstotka plina v dihalni zmesi in iz volumna plina v jeklenki, lahko preračunamo čas v katerem se bosta jeklenki izpraznili.

1.2.1 Jeklenka s kisikom

Kisikova jeklenka je po standardih EU bele barve, lahko pa še najdemo tudi modro. Navoj na jeklenki je $\frac{3}{4}$ palca. V njej je uplinjen kisik pod tlakom 100 – 200 barov, odvisno od napolnjenosti. Volumen plina v kisikovi jeklenki izračunamo s pomočjo splošne plinske enačbe:

$$\frac{p_0 \times V_0}{T_0} = \frac{p_1 \times V_1}{T_1}$$

Temperatura kisika v jeklenki je enaka temperaturi kisika v dihalni zmesi ($T_0 = T_1$), p_0 odčitamo iz manometra na jeklenki (100 barov), V_0 je prostornina jeklenke (3l), p_1 je pritisk kisika v dihalni zmesi (1 bar). Iz podatkov lahko izračunamo prostornino kisika V_1 :

$$V_1 = \frac{p_0 \times V_0}{p_1} = \frac{100 \times 3}{1} = 300$$

Iz minutnega volumna dihanja in odstotka kisika v dihalni zmesi lahko izračunamo koliko časa bomo lahko predihavali bolnika s 300 litri kisika v jeklenki.

1.2.2. Jeklenka z dušikovim oksidulom

Jeklenka za N_2O je po standardih EU modre barve, lahko pa je tudi siva, z navojem $\frac{3}{8}$ palca. Vsebuje utekočinjen N_2O pod tlakom 51 barov pri $20^\circ C$. Tlak se ne spreminja dokler se ne porabi vsa količina utekočinjenega N_2O . V 1 molu N_2O je 44g N_2O , ki zavzamejo 22,4l prostornine pri standardnih pogojih ($0^\circ C$ in 10^5 Pa). 1 g N_2O zavzame 509,1 ml prostornine (22,4l/44g). Volumen N_2O , ki ga potrebujemo za predihavanje bolnika ugotovljamo s tehtanjem jeklenke in iz minutnega

volumna dihanja ter odstotka N_2O v dihalni zmesi. Jeklenka z N_2O se ne sme segrevati in ne sme biti povsem polna, ker lahko zaradi porasta tlaka v jeklenki pride do eksplozije.

Da ne bi prišlo do zamenjave jeklenk imajo tudi priključitveni sklopi na jeklenkah različno razporeditev vdolbinic in zatičev. Na jeklenkah je nameščen glavni ventil za odpiranje jeklenke in manometer, ki kaže tlak v jeklenki. Glavni ventil moramo odpirati in zapirati počasi.

Na jeklenkah so nameščeni reducirni ventili, ki zmanjšajo tlak na 5 barov in zmanjšujejo nihanje tlaka (slika 3). Za reducirnim ventilom je manometer, ki prikazuje reducirani tlak (5 barov). Za manometrom je pretočni merilnik.

2. Pretočni merilnik

Plini iz osrednje preskrbovalne enote tečejo v pretočne merilnike, oziroma iz jeklenk tečejo plini preko reducirnih ventilov prav tako v pretočne merilnike. S pretočnimi merilniki nastavimo sestavo in pretok plinov dihalne zmesi v anestezijskem aparatu (slika 4).

Pretočni merilnik zmanjša tlak na 1 bar. Ker so pretočni merilniki umerjeni na tlak 1 bar in temperaturo $20^\circ C$, lahko pri ekstremnih temperaturah ali v hiperbarni komori pride do merilnih napak. Za pretočnim merilnikom se kisik in N_2O pomešata v dihalno zmes. Odstotek posameznega plina v zmesi je odvisen od nastavljenega pretoka na pretočnem merilniku. Pretok N_2O je v modernih pretočnih merilnikih odvisen od pretoka kisika zato je onemogočena nastavitvev manj kot 30 % kisika v dihalne zmesi.

Kisik lahko z gumbom »O₂ flush« preusmerimo z velikim pretokom (40-70 l/min) in tlakom 5 barov mimo pretočnega merilnika v dihalni sistem.



Slika 2. Osrednja preskrbovalna enota



Slika 3. Reducirni ventil z manometrom

3. Hlapilnik

Dihalna zmes teče iz pretočnega merilnika v hlapilnik, ki dodaja utekočinjen hlapni anestetik v dihalno zmes. V hlapilniku se nalije utekočinjen anestetik in nastavi želena volumnska koncentracija anestetika v dihalni zmesi. Zaradi različnih vrelišč hlapnih anestetikov je za vsak hlapni anestetik izdelan njegov hlapilnik. Koncentracija hlapnega anestetika v dihalni zmesi je odvisna od deleža dihalne zmesi, ki teče preko hlapilnika (slika 5).

4. Anestezijski dihalni sistem

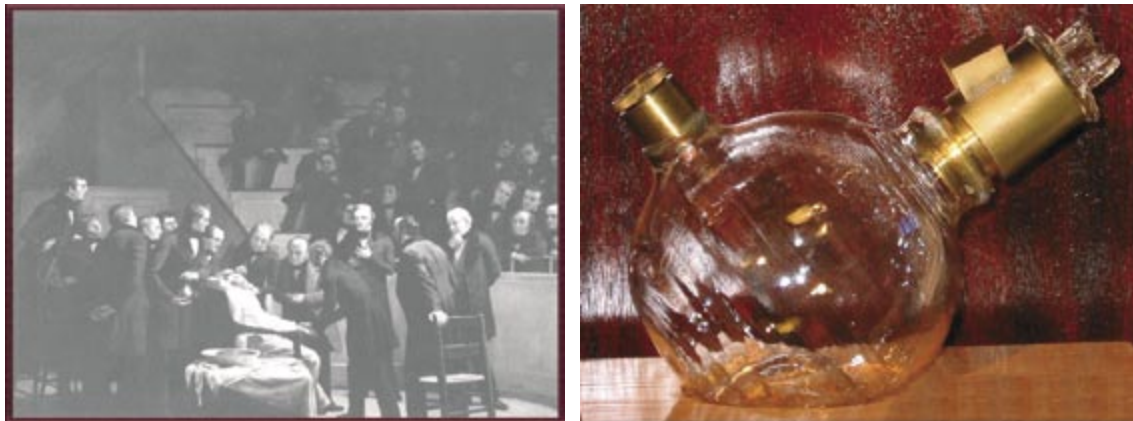
Anestezijski dihalni sistem (ADS) povezuje bolnikova dihala z anestezijskim aparatom. Temeljni nalogi ADS sta dovajanje zadostnega volumna dihalne zmesi bolniku iz anestezijskega aparata in odstranjevanje ogljikovega dioksida (CO_2) iz dihalne zmesi. Kopičenje CO_2 v dihalni zmesi preprečujemo s prilagajanjem pretoka sveže dihalne zmesi s čimer preprečimo povratno dihanje in/ali z vključitvijo absorberja za CO_2 v ADS (5).



Slika 4. Pretočni merilniki (4)



Slika 5. Shematski prikaz delovanja hlapilnika (1) in dveh hlapilnikov za različna hlapna anestetika na anestezijskem aparatu (3)



Slika 6. Morton izvede prvo splošno anestezijo z etrom 1846

4.1. Starejša razdelitev deli ADS na:

4.1.1. Odprte ADS:

Pri odprtem ADS bolnik vdihava zrak s hlapi anestetika iz okolja in ga izdiha v okolje. Odprti ADS je v klinično anestezijo vpeljal Morton 1846 z izvedbo prve splošne anestezije z etrom (slika 6).

Leta 1847 je Simpson kapljal kloroform kar na žepni robček. Leta 1895 je Schimmelbusch predstavil svojo enostavno masko preko katere se navleče gaza in nanjo kaplja eter ali kloroform (slika 7).

Slabosti in nevarnosti anestezije z odprtim ADS (slika 8):

- slabo nadzorovana globina anestezije,
- slabo nadzorovano spontano dihanje bolnika,
- hitro lahko nastane dihalna zmes zraka in hlapnega anestetika z nižano koncentracijo kisika in povečano koncentracijo ogljikovega dioksida,
- poškodbe oči in kože z etrom,
- kontaminacija atmosfere,
- nevarnost eksplozije in požara.

4.1.2. Polodprte ADS

Pri polodprtem ADS bolnik vdihava dihalno zmes iz anestezijskega aparata in jo izdiha v okolje. Povratno dihanje s katerim se kopiči CO₂ v dihalni zmesi prepre-

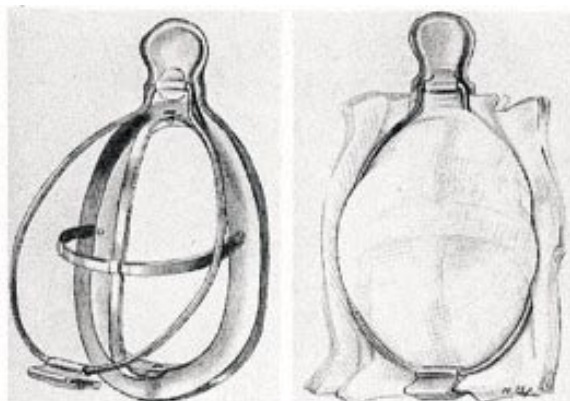
čujemo s pretokom sveže dihalne zmesi, ki mora biti 2 - 3 kratni minutni volumen dihanja ali 200 - 300 ml/kg telesne teže.

4.1.3. Polzaprte ADS

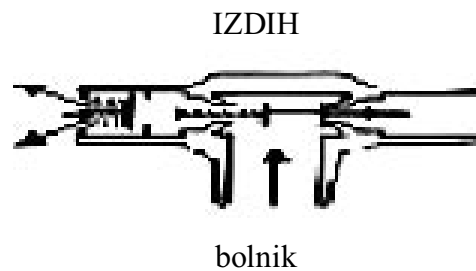
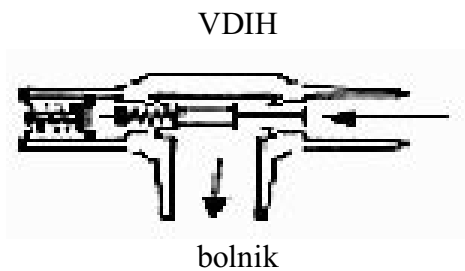
Pri polzaprtem ADS bolnik vdihava dihalno zmes iz anestezijskega aparata in jo izdiha deloma v okolje, deloma pa v anestezijski aparat, kjer se izdihana dihalna zmes meša s svežo dihalno zmesjo in jo bolnik ponovno vdiha. Kopičenje CO₂ v dihalni zmesi preprečujemo z absorberjem CO₂.



Slika 8. Anestezija z odprtim ADS



Slika 7. Schimmelbuscheva maska



Slika 9. ADS z nepovratnim ventilom

4.1.4. Zaprte ADS

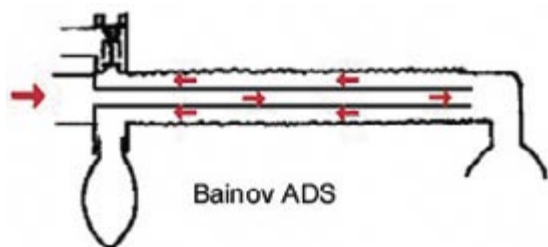
Pri zaprtem ADS bolnik vdihava dihalno zmes iz anestezijskega aparata in jo izdihava v anestezijski aparat, kjer se izdihana dihalna zmes meša samo s kisikom, ki v dihalni zmesi nadomešča porabljen kisik. Kopičenje CO_2 v dihalni zmesi preprečujemo z absorberjem CO_2 .

4.2. Najbolj uporabna je razdelitev ADS po funkciji in po obliki. Po obliki razlikujemo linearne in krožne ADS, po funkciji pa nepovratne in povratne ADS. Povratni ADS omogoča ponoven vdih dela izdihane dihalne zmesi,

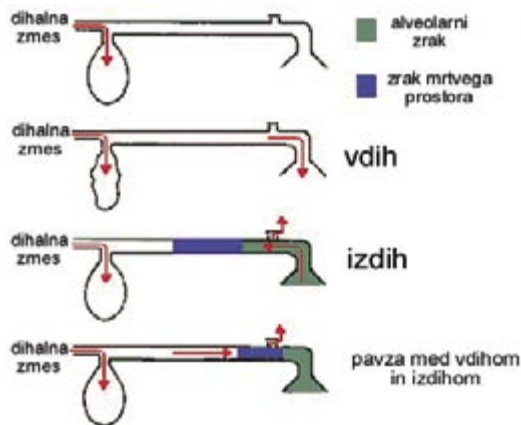
4.2.1. Linearni nepovratni ADS

Pri linearnih nepovratnih ADS preprečujemo ponovno vdihovanje izdihanega zraka z:

- Nepovratnim ventilom v neposredni bližini nastavka za dihalno masko ali tubus. Med izdihom nepovratni ventil prepreči mešanje izdihane dihalne zmesi in sveže dihalne zmesi v dihalnem balonu (slika 9).
- Pretokom dihalne zmesi: pretok sveže dihalne zmesi mora biti 2 - 3 kratni minutni volumen dihanja ali 200 – 300 ml/kg telesne teže. Premajhen pretok sveže dihalne zmesi povzroči ponoven vdih izdihane dihalne zmesi in s tem kopičenje CO_2 v dihalni zmesi,



Slika 10. Princip delovanja Bainovega ADS

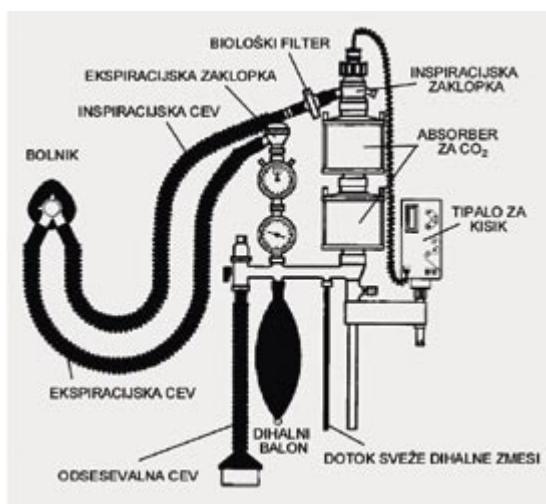


Slika 11. Magillov ADS z izpustnim ventilom

Prevelik pretok otežuje izdihanje dihalne zmesi. V to skupino spadajo Ayrov, Bainov (slika 10), Jackson – Reesov, Kuhnov ADS ter slovenski ADS Emona (Jeretin, Pečan 1979 (6)).

- Izpustnim ventilom: pri vdihu vstopa sveža dihalna zmes v balon in nato v bolnika dihala. Pri začetku izdiha pa izdihana dihalna zmes mrtvega prostora in sveži dotok dihalne zmesi dvigneta pritisk v ADS in odpreta izpustni ventil. Ko bolnik prične izdihovati zrak z ogljikovim dioksidom je izpustni ventil že odprt (slika 11). Pretok sveže dihalne zmesi mora biti enak bolnikovemu minutnemu volumnu dihanja.

Linearni nepovratni ADS imajo majhen upor, ki ga mora premagovati bolnik pri spontanem dihanju. Nevarnost navzkrižnega prenosa okužbe med bolniki je



Slika 12. Krožni ADS



Slika 13. CO_2 absorber

majhna, saj se izdihana dihalna zmes ne vrača v anestezijski aparat. Slabosti linearnih nepovratnih ADS pa sta sušenje dihalne sluznice, kar vodi v izgubo tekočine in toplote ter velika poraba plinov in hlapnih anestetikov, kar povzroča onesnaževanje okolja (tabela 1).

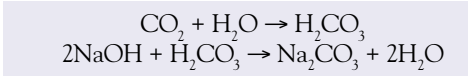
4.2.2. Krožni ADS

Sestavljajo ga cev za dotok sveže dihalne zmesi, inspiratorna zaklopka, inspiratorna cev, Y-nastavek, ekspiratorna cev, ekspiratorna zaklopka, dihalni balon, absorber za CO₂ in ventilator (slika 12).

Če je pretok sveže dihalne zmesi večji ali enak kot je bolnikov minutni volumen dihanja je dihanje nepovratno in absorber za CO₂ ni potreben. Dihanje postane delno povratno, ko pretok sveže dihalne zmesi zmanjšamo pod bolnikov minutni volumen dihanja. Kopičenje CO₂ v dihalni zmesi preprečimo z vključitvijo absorber-

ja za CO₂ v ADS. Krožni ADS postane popolnoma povraten, ko dotok sveže dihalne zmesi zmanjšamo pod 1l/min. Dihalna zmes mora vsebovati vsaj 600 ml/min kisika, saj je poraba kisika v telesu približno 300 ml/min.

CO₂ absorber vsebuje zrna natrijevega in kalcijevega hidroksida, ki reagirajo z ogljikovim dioksidom, pri čemer nastaja toplota in voda.

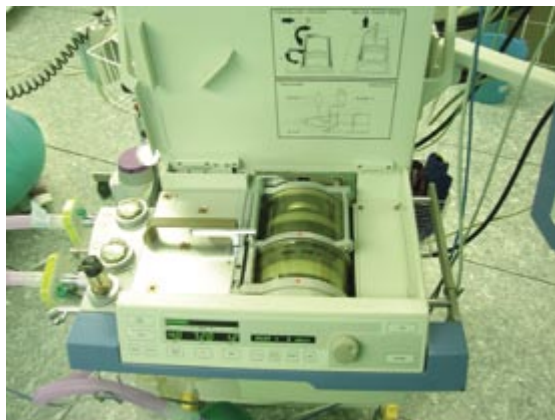


V CO₂ absorber je dodan indikator, ki se obarva, ko se kapaciteta za absorbcijo CO₂ zmanjša (slika 13).

Polpovratni in povratni krožni ADS imajo večji upor pri spontanem dihanju bolnika, poraba plinov, izguba vlage in toplote ter onesnaževanje okolja pa je manjše (tabela 1). Nevarnost navzkrižne okužbe dihal pri bolnikih se zmanjšuje z uporabo mikrobioloških filtrov. Onesnaževanje zraka v operacijski dvorani s hlapnimi anestetiki se zmanjša z odsesavanjem plinov.

5. Anestezijski ventilator

Za nadzorovano predihavanje bolnika med anestezijo najpogosteje uporabljamo prostorninski ventilator



Slika 14. Anestezijski ventilator



Slika 15. Nadzor delovanja dihal, obtočil in anestezijskega aparata (4)



Slika 16. Računalniška izdelava anestezijskega operacijskega protokola

ADS	izguba vlage / toplote	upor	poraba plinov	onesnaževanje okolja
nepovratni	+	-	+	+
povratni	-	+	-	-

Tabela 1: Prednosti in slabosti povratnih in nepovratnih ADS

(slika 14). Najprimernejši dihalni volumen nadzorovanega predihavanja je 7 - 10 ml/kg telesne teže in frekvenca 10 – 12 vdihov/min pri odraslih ter 12-30 vdihov/min pri otrocih. Časovno razmerje med trajanjem vdiha in izdiha mora biti 1:2.

6. Sistemi za nadzorovanje delovanja anestezijskega aparata in bolnikovih vitalnih organskih sistemov

Pred začetkom anestezije je potrebno preveriti delovanje anestezijskega aparata. Med anestezijo je zaradi var-

1846



1900



2000



Slika 17. Razvoj anesteziologije v 160 letih je omogočil razvoj vseh kirurških strok (4)

nosti bolnika nujen stalen nadzor delovanja anestezijskega aparata, kakor tudi stalno nadziranje in vzdrževanje delovanja bolnikovih dihal in obtočil (slika 15). Neprekinjeno je potrebno nadzirati:

- parametre delovanja anestezijskega aparata,
- koncentracije kisika, ogljikovega dioksida in hlapnih anestetikov v dihalni zmesi med vdihom in izdihom,
- dihalni volumen in frekvenco dihanja,
- tlake v dihalih,
- nasičenost hemoglobina s kisikom (SaO_2),
- krvni tlak in srčno frekvenco.

Po potrebi lahko pri kritično bolnih nadzor nad delovanjem obtočil razširimo:

- z invazivnim merjenjem krvnega tlaka,

- z merjenjem osrednjega venskega tlaka in tlakov v pljučni arteriji,
- s spremljanjem nasičenosti hemoglobina s kisikom v pljučni arteriji (SvO_2).

Sodobni anestezijski aparat je lahko povezan tudi z računalnikom, kamor se neprekinjeno prenašajo podatki o delovanju anestezijskega aparata, bolnikovih obtočil in dihal, kjer se uporabijo za izdelavo anestezijskega operacijskega protokola (slika 16).

Od preprostih začetkov anestezije leta 1846 z uporabo etra in odprtega ADS je anesteziologija v 160-ih letih napravila velik strokovni razvoj, ki je omogočil razvoj tudi drugim kirurškim strokam (slika 17).

Literatura:

1. Manohin A in Križnarič M. *Temeljne fizikalne osnove v anesteziologiji, anestezijski aparata, anestezijski dihalni sistemi in anestezijski ventilator*. Maribor: Visoka zdravstvena šola Univerza v Mariboru, 2006: 39-88.
2. Andrews JJ. *Inhaled anesthetic delivery systems*. In: Miller RD. *Anesthesia 5th ed*. New York: Churchill Livingstone, 2000.
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
4. <http://www.draeger-medical.com>
5. Euliano TY in Gravenstein JS. *Essential anesthesia from science to practise*. Cambridge university press, 2004: 110-116.
6. Pecan M. The "Emona" anaesthetic baby system. *Anaesthesist*. 1977 ; 26: 319-23.