

Low, minimal, nebo metabolic flow?

Michal Horáček

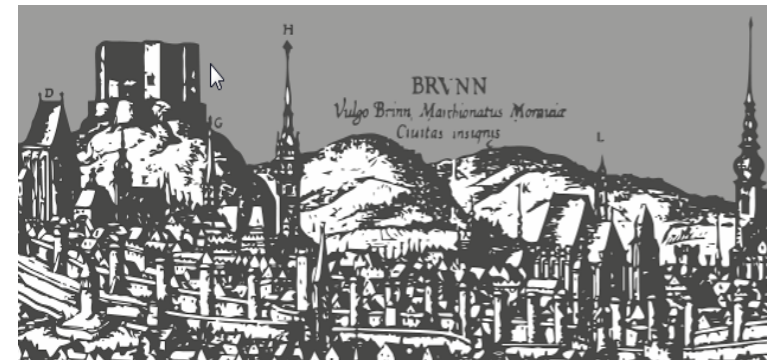
KARIM 2. LF UK v FN Motol a katedra AIM IPVZ

Praha



Baxter

XXVIII. kongres ČSARIM Brno
16. 9. 2022

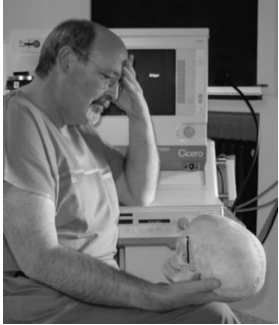


Konflikt zájmu

přednáška je honorována

Baxter

Co je low, minimal, metabolic flow?



Jan A. Baum

technika inhalační anestezie:

- polozavřený systém se zpětným vdechováním $\geq 50\%$ vydechovaného plynu po absorpci CO_2 ($= 1 - \text{FGF}/\text{MV}$)

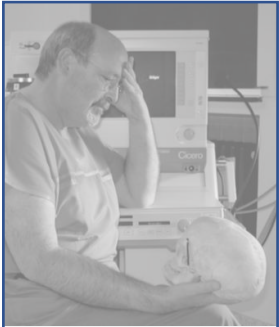
Baum JA, Aitkinhead AR: Low-flow anaesthesia.

Anaesthesia 1995;50(suppl.): 37-44

- otevřený
- polootevřený: $\text{FGF} > 2-3 \times \text{MV}$, $> 6\text{l}/\text{min}$
- **polozavřený: uptake $< \text{FGF} < \text{MV}$, 0,5-6 l/min**
- zavřený: $\text{FGF} = \text{VO}_2 + \text{uptake} + \text{no leak}$
 - nekvantitativní = konstantní objem plynů
 - kvantitativní = konstantní objem, složení

- absorpce CO_2
- **minimální metabolismus:**
 - isofluran 0,2 % dávky
 - sevofluran 2-5 % dávky
 - desfluran 0,02 % dávky
- **recyklace (CONTRAfluran AGCS)**

Co je low, minimal, metabolic flow?



Jan A. Baum

- polouzavřený systém se zpětným vdechováním $\geq 50\%$ vydechovaného plynu po absorpci CO_2 ($= 1 - \text{FGF}/\text{MV}$)

Baum JA, Aitkinhead AR: Low-flow anaesthesia.

Anaesthesia 1995;50(suppl.): 37-44

- **Baker** (modifikace dle Simionescu):

- very high flow > 4 l/min
- high flow 2-4 l/min
- medium flow 1-2 l/min

- **low flow** 500-1000 ml/min (F. Foldes 1952)
- **minimal flow** 250-500 ml/min (R. Virtue 1974)
- **metabolic flow** = $\text{VO}_2 \approx 250$ ml/min + uptake ≈ 300 -350 ml/min

Baxter AD: Low and minimal flow inhalational anaesthesia.

Can J Anaesth 1997;44(6):643-653

míra zpětného vdechování:

- low-flow:
 $= 1 - 1000/(10 \times 500) = 0,8 = 80\%$
- minimal-flow:
 $= 1 - 500/(10 \times 500) = 0,9 = 90\%$

Metabolic flow

= spotřeba $O_2 \approx 300 \text{ ml} + \text{uptake} + \text{no leak}$

- **výpočet podle Brodyho:** $VO_2 = 10 \times \text{hmotnost}^{3/4}$
vědecké kalkulačky, Excel
např. 84 kg: $10 \times 84^{3/4} = 277,5 \text{ ml/min}$

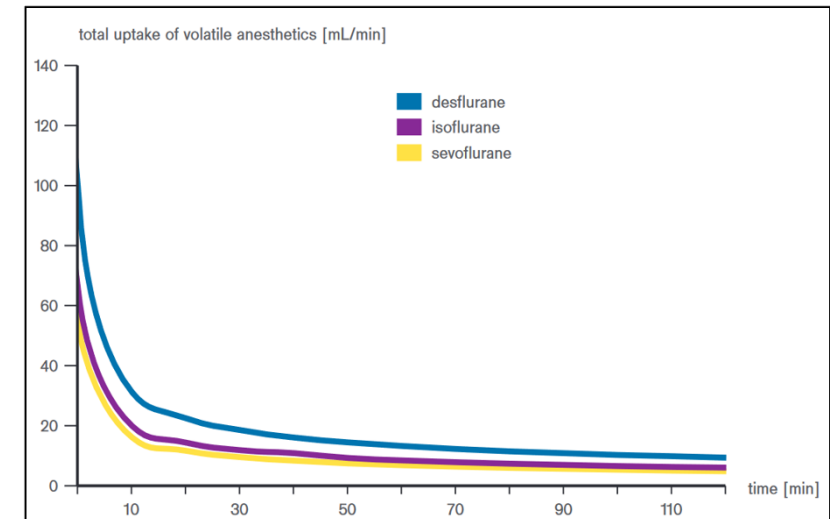


	A	B	C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

- **výpočet podle MET:**
1 MET (spotřeba O_2 vsedě, v klidu) = 3,5 ml/kg/min
např. 84 kg: $3,5 \times 84 = 294 \text{ ml/min}$

- VO_2 v anestezii může být asi o 10-20 % nižší
umělá plicní ventilace, svalová relaxace, nižší teplota

- **uptake:** $V_{AN} = f \times MAC \times \alpha_{B/G} \times Q \times t^{1/2} \text{ [ml/min]}$
 $f \times MAC$ = požadovaná koncentrace, obv. 0,8 MAC,
 $\alpha_{B/G}$ rozdělovací koeficient, Q = srdeční výdej, t = čas



Výhody

low, minimal, metabolic flow anestezie

- **ekologická**

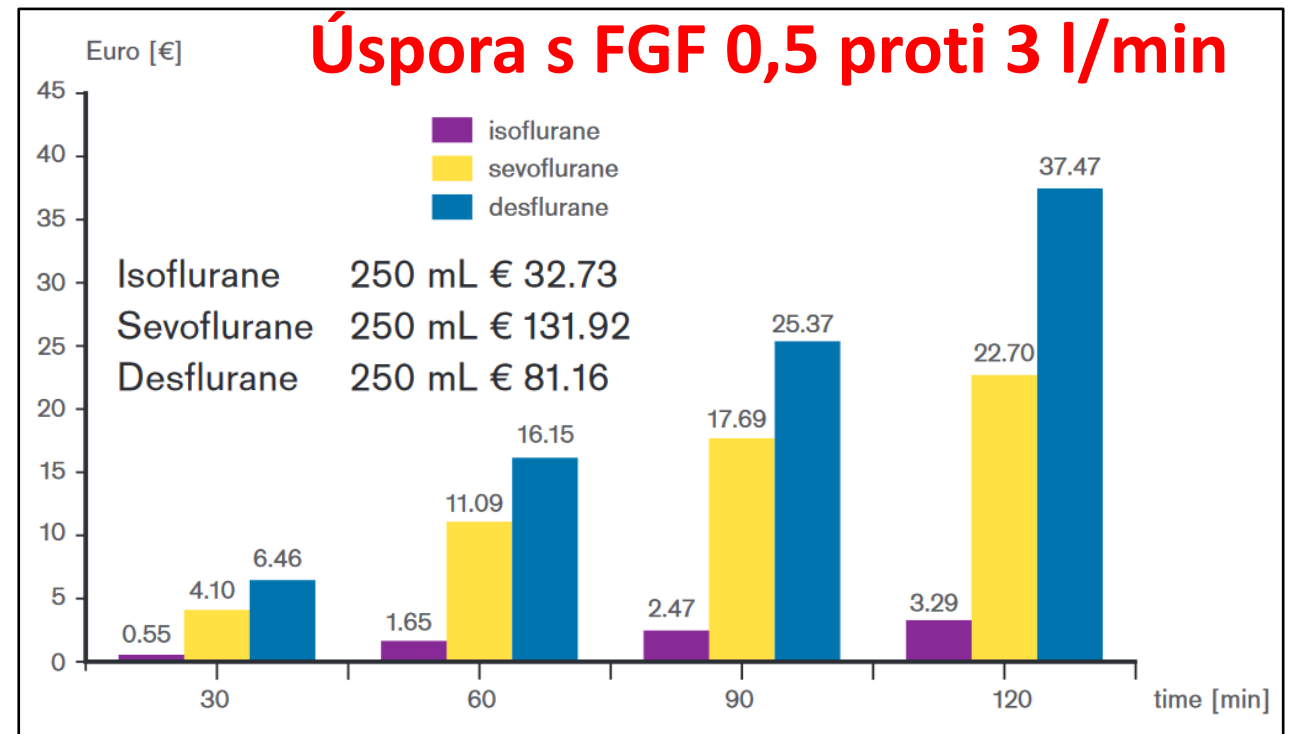
- pro pacienta: klimatizace vdechovaných plynů

↓ ztráty tepla a vody

- pro sál: snížení poluce (např. Rtg)
- pro zeměkouli:
 - skleníkový efekt
 - destrukce ozonové vrstvy u látek s Cl

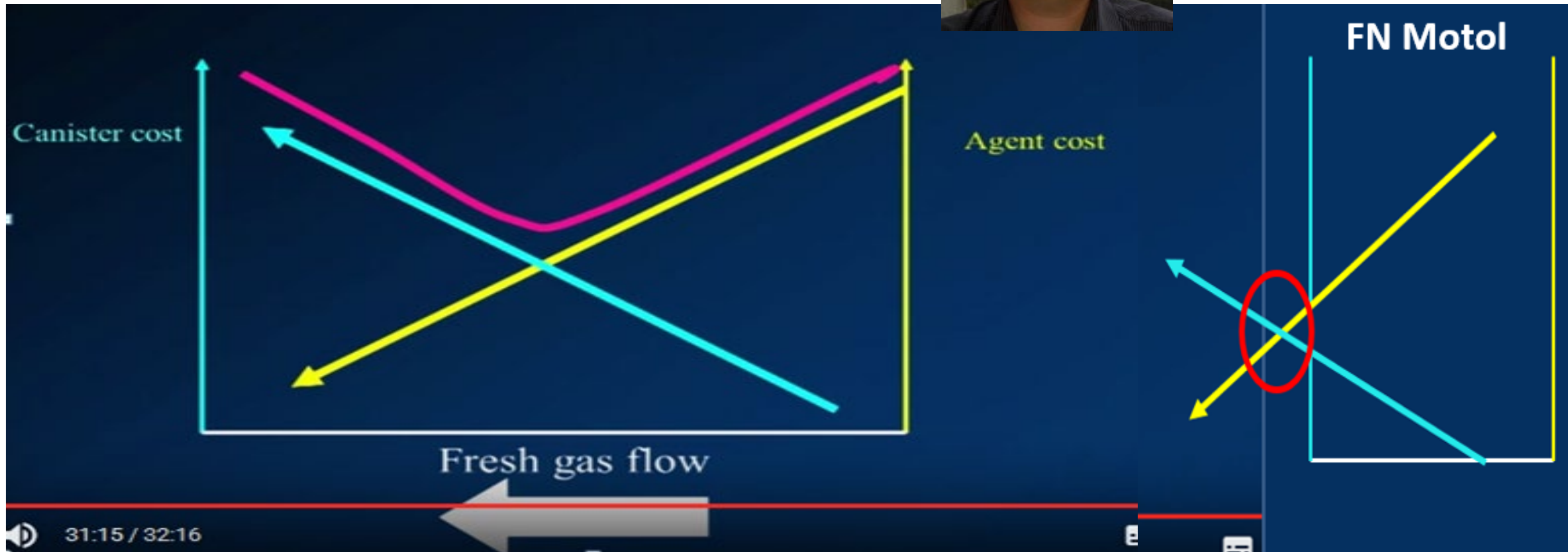
- **ekonomická**

- nižší spotřeba plynů a anestetika
- vyšší spotřeba pohlčovače
- recyklace



Ideální příkon plynů?

= s nejmenšími náklady



Jan Hendrickx: HOW THE FRACTION OF REBREATHING DEFINES MACHINE, CO₂ABSORBENT, AND AGENT USE EFFICIENCY. Lectures 2015, dostupná na <http://www.navat.org>

Proč nepoužíváme rutinně?

- nevhodné vybavení
 - nedostatek znalostí
 - strach:
 - hypoxie
 - hyperkapnie
 - nedostatečné vyřazení vědomí
 - akumulace cizích sloučenin a plynů
 - slouč. A, etyl, CO, metan, aceton aj.
- většinou již máme
navat.org, youtube, články vč. AIM
- pulzní oxymetrie
pohlčovače CO₂, analýza plynů
pEEG, MAC_{age} 0,7-1,0
- nehrozí s výjimkou intoxikace CO

„LFA (< 1 l/min) lze použít téměř u všech pacientů bez zvýšeného rizika!“

- Boldt J: LFA does it have potential pharmacoeconomic consequences? Pharmacoeconomics **2000**;17:585–590
- Hendrickx JFA: Automated gas control with the Maquet FLOW-i. J. Clin. Monit. Comput. **2016**;30:341–346
- Colak YZ: Feasibility, safety, and economic consequences of using minimal flow anaesthesia by Maquet FLOW-i equipped with automated gas control. Sci Rep **2021** Oct 8;11(1):20074. doi: 10.1038/s41598-021-99648-4.

Ručně nebo automaticky?

přístroje pro low-flow/minimal flow

klasická „ruční“ technika

- znalost farmakokinetiky
- ruční práce s ovládáním



moderní technika (**autopilot**): ještě nižší FGF

- např. Low/Minimal Flow Wizzard (Dräger), Automatic Gas Control (Gettinge), Navigator (GE), Flow-i (Maquet), EtControl (GE Aisys) aj.

Minimizing sevoflurane wastage by sensible use of automated gas control technology in the flow-i workstation: an economic and ecological assessment

Journal of Clinical Monitoring and Computing

Kalmar AF et al.

<https://doi.org/10.1007/s10877-021-00803-z>

Routine clinical practice using what historically is called “low flow” anaesthesia (e.g. 2 L/min FGF) **should be abandoned**, and **all anaesthesia machines should be upgraded as soon as possible with automatic delivery technology** to minimize atmospheric pollution with volatile anaesthetics.

27 December 2021

Použit, nebo nepoužit N₂O?

ESA

2015

EJA



Eur J Anaesthesiol 2015; 32:517–520

EDITORIAL

The current place of nitrous oxide in clinical practice

An expert opinion-based task force consensus statement of the European Society of Anaesthesiology

The European Society of Anaesthesiology task force on the use of nitrous oxide in clinical anaesthetic practice*

„no reason not to use N₂O when not specifically contraindicated“

Nepoužívat N₂O, není-li indikace

ESA



European Society of Anaesthesiology Task Force on Nitrous Oxide: a narrative review of its role in clinical practice

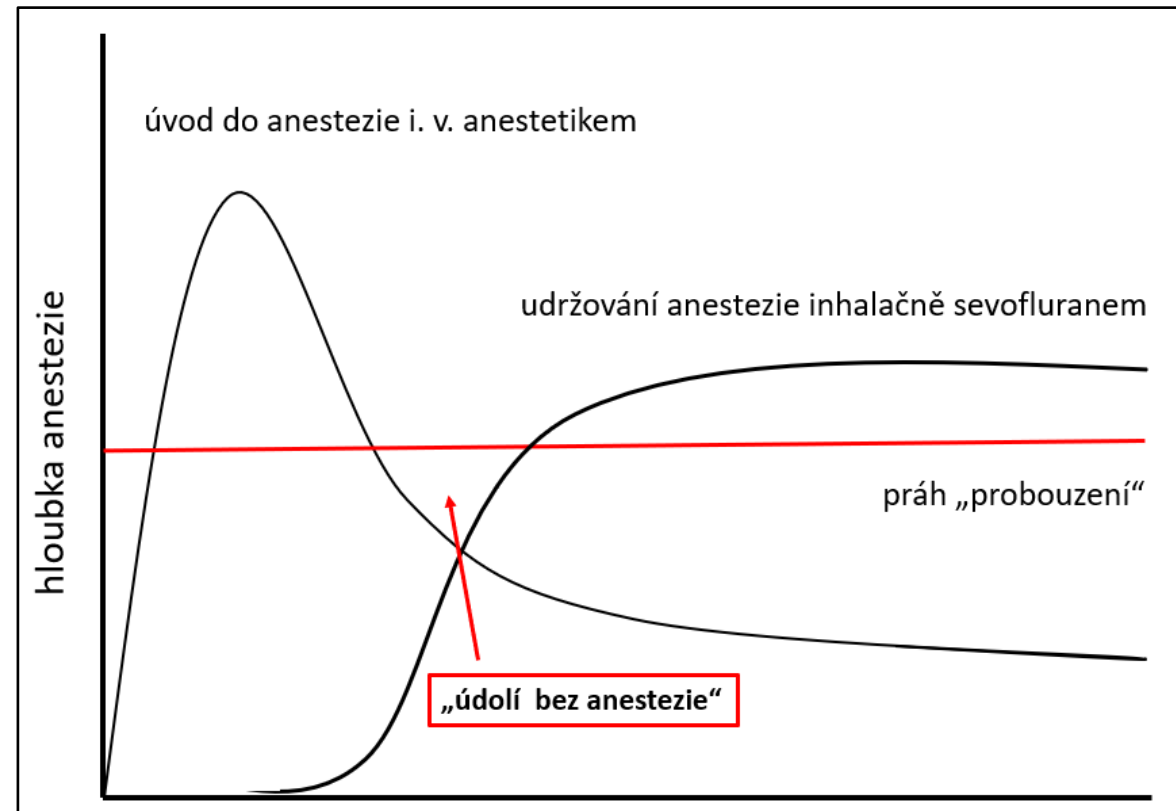
Brit J Anaesth **2019**;122 (5): 587-604

- *skleníkový plyn, anest. účinek malý*
- *problémy s denitrogenací a uptake N₂O*
- *cílené použití podle poměru přínos/rizika*
- *ekonomické použití s low-flow*

exaggerated or misplaced. There is good reason to maintain interest in the contribution of N₂O to general anaesthesia and its use as a sedative and analgesic. Rather than jettisoning N₂O entirely, a more rational approach is its targeted use considering its risk/benefit ratio in any given patient, as should be applied to any drug. We recommend that the supply of N₂O in hospitals be maintained while encouraging its economic use employing modern low flow delivery systems. Future research into its potential novel applications in prevention or treatment of chronic conditions in specific subpopulations should be pursued in the developing era of precision medicine.

Ideální sekvence nastavení příkonu

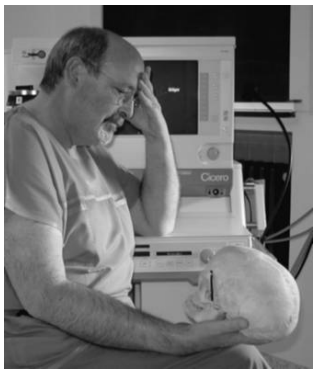
- spotřeba anestetika nejvíce záleží na prvních 15 minutách, tj. fáze nasycení (wash-in)
- cíl: plynulý úvod, co nejkratší nasycovací fáze, bez hemodynamických problémů a bez „údolí bez anestezie“



Ideální sekvence nastavení příkonu

řada různých doporučených schémat:

- s proměnlivým nastavením příkonu čerstvých plynů a odpařovače
- s pevným nastavením příkonu čerstvých plynů a odpařovače
- přechod na low-flow/min. flow
 - podle času (20, 15, 10 min aj.)
 - podle doby ekvibrace
 $F_{et}/F_i = 0,8 = \text{MAC } 0,8$
 - doba do ekvibrace sevo v mozku +3,3 min



Modifikovaná technika podle Bauma s proměnlivým nastavením



prof. Jan A. Baum
(† 2009)

- premedikace, i. v. úvod, intubace, či laryngeální maska
- **nasycení:** 1 l O₂ + 2 l Air + sevo 2,5 % 10-15 min, či MAC 0,8
- **vedení:** = 1,3 x MAC = 1,3 x 2 % ≈ 2,5 %
 - po 10 min. FGF 1 l/min, FiO₂ ≥ 0,4, sevo 3 %
 - po 15 min. FGF 0,5 l/min, FiO₂ ≥ 0,5, sevo 3,5 %
- **ukončení:** coasting („přistávání, jízda na neutrálu“)
 - √ z trvání anestezie v minutách (např. 60 min. = 7-8 min, 8² = 64)
 - po skončení operace vypláchnout okruh, převést na spont. vent.

J. A. Baum: Low-flow anesthesia: Theory, practice, technical preconditions, advantages, and foreign gas accumulation. J Anesth **1999**;13:166-174

Are high fresh gas flow rates necessary during the wash-in period in low-flow anesthesia?

Kaohsiung J Med Sci.2020;36:834–840.

Mahmut Arslan  | Gökçe Gişi | Gözen Öksüz | Hafize Öksüz | Bora Bilal |
Ömer Faruk Boran  | Feyza Çalışır

- Dräger Primus, propofol + FNT + rocuronium, OTI, remiFNT infuze
- **desfluran**: 18 % + FGF 1 l/min, nebo 6 % + 4 l/min
- MAC 0,6-0,8 během výkonu
- čas do MAC 0,7: 160 s [135-181] s des 18 % x 288 s [240-500] s des 6 %, $P < .001$
- spotřeba: 1. hod 23 ml (21,3-24,8) x 27 ml (26-28) $P < 0,001$
- celková spotřeba 34 ml (24.3-45) x 41 ml (34-50) $P 0,012$
- **Závěr: FGF 1 L/min vč. období wash-in „is safe, effective, and more efficient“ než 4 l/min.**



Jan Jakobsson
Karolinska Inst.
Danderyd

Technika s pevným nastavením plynů a odpařovače v úvodu

- 50 pacientů ASA 1-2 20-65 let k laparoskopii
- i. v. úvod propofol 2,5 mg/kg, remifent 0,5 ug/kg/min, intubace po 3 min. preoxygenace, rocuronium
- nasycovací fáze:
 - **0,5 – 1/min I FGF (FiO₂ 0,5)**
 - sevofluran 6 % (3 x MAC)
 - doba do dosažení 1 MAC s FGF 1 l/min: 6,2 ± 1,3 min
s FGF 0,5 l/min: 15,2 ± 2,4 min

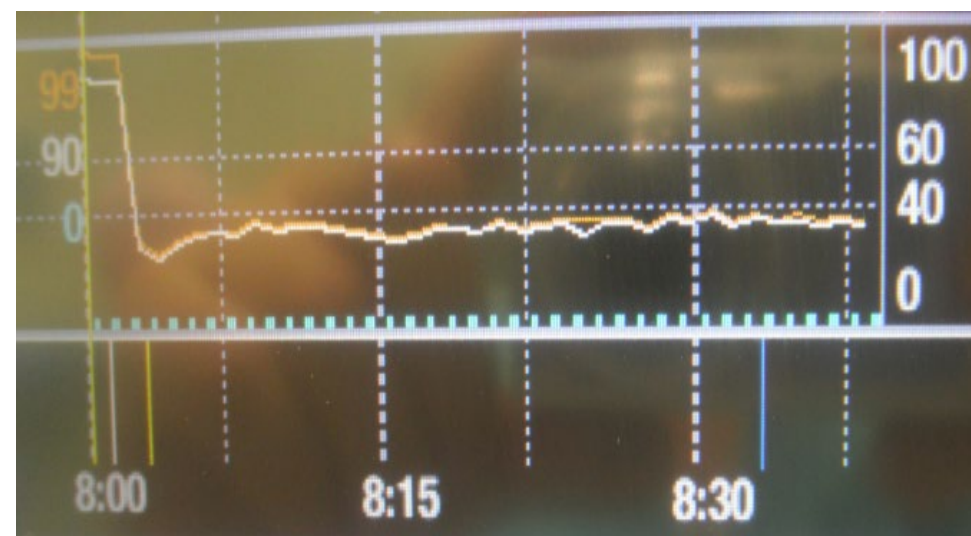
Horwitz M, Jakobsson JG: **Desflurane and sevoflurane use during low- and minimal-flow anesthesia at fixed vaporizer settings.** Minerva Anesthesiol. **2016** Feb;82(2):180-5.

Modifikovaná technika s pevným nastavením plynů a odpařovače v úvodu

muž, 71 let, BMI 26,5 k OPCABG 23.9.2016

úvod: Hypnomidate + SFNT + rocuronium, po intubaci

nasycení: **1 | !** FGF (FiO₂ 0,5), sevo 8 %, MAC 0,8



Záznam entropie

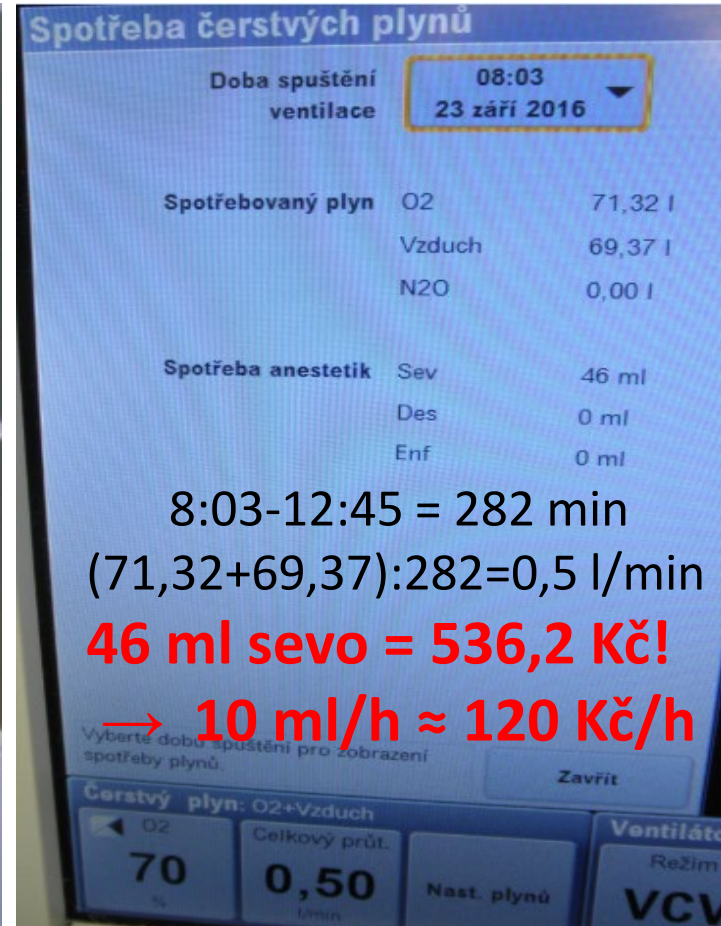
Průběh hodnoty MAC bez korekce k věku

Výsledek low-flow/minimal-flow anestezie

úvod s pevným nastavením
muž, 71 let, BMI 26,5, OPCABG 3x

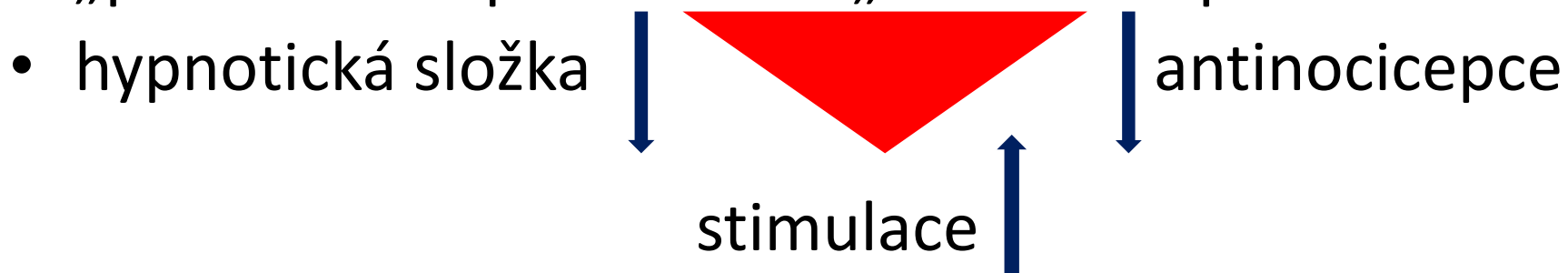


Záznam entropie



Změny „hloubky“ anestezie

- „pacient není ponorka!“ – „hloubka“? přiměřenost lepší



- časová konstanta systému (okruh + FRC) dlouhá

$$\tau = V_s / FGF \quad T_{1/2} = 0,693 \times \tau$$

- dostatek času: změnit nastavení odpařovače

- **nedostatek času:**

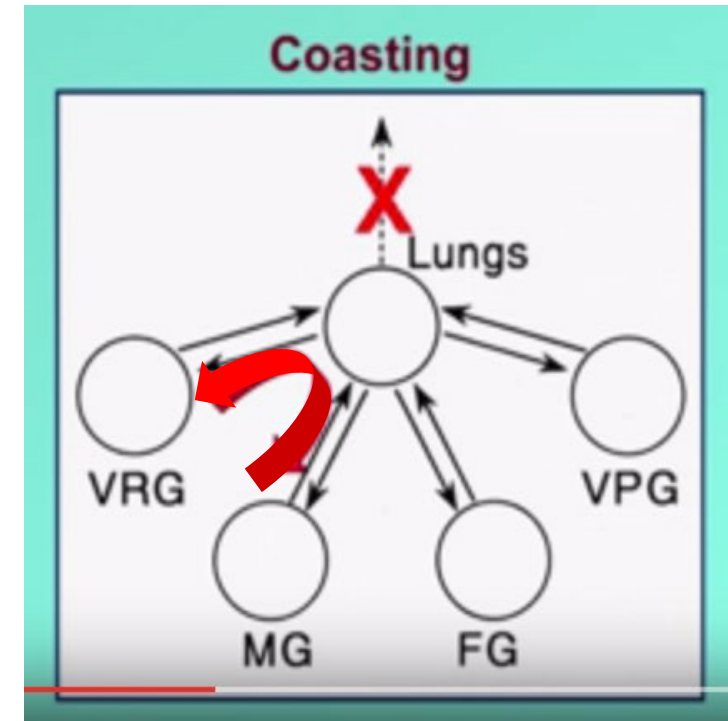
inhalační bolus: sevo 3 MAC = 6 % + FGF 4 l/min po 30 s

zvýšit požadovaně MAC, odpařovač pak otevřít více

opioid, nebo propofol 10-20 mg

Ukončení - „coasting“

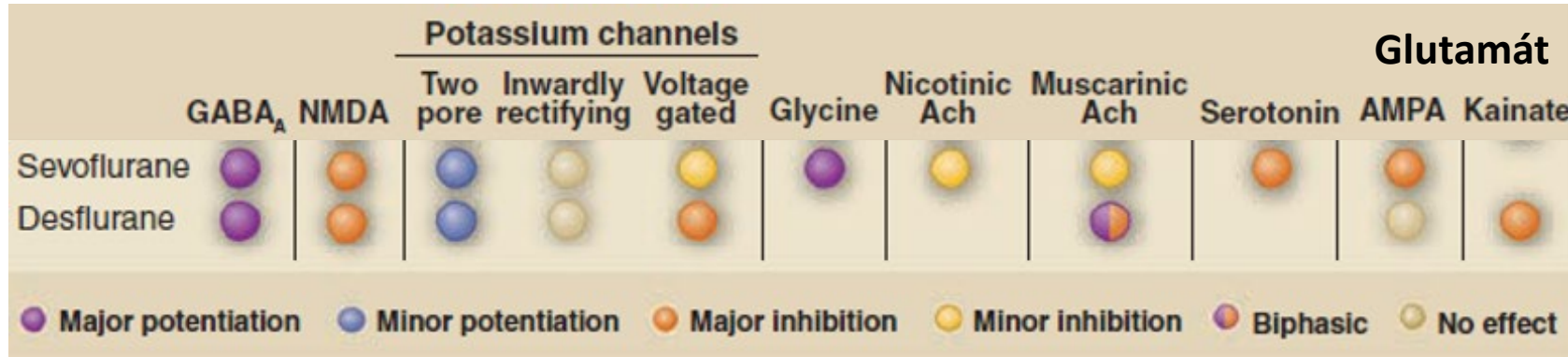
- „přistávání“, „jízda na neutrálu“
- před koncem operace se vypne odpařovač, sníží se příkon čerstvých plynů (FGF) na uzavřený okruh, tj. ustane eliminace anestetika při 100% zpětném vdechování, jeho koncentraci v CNS udržuje redistribuce v organismu (Hendrickx 2000)
- trvání coastingu:
 - roste s délkou anestezie (v (min))
 - roste s klesající rozpustností inhalačního anestetika
- konec operace:
 - FGF 4 l/min, vypláchnout okruh, FiO_2 dle potřeby



Sevofluran, nebo desfluran?

- „Každé anestetikum má své specifické spektrum účinků.“

Antkowiak B: How do general anaesthetics work? *Naturwissenschaften* 2001;88:201-13



Alkire MT et al.: Consciousness and Anesthesia. *Science*. 2008; 322(5903): 876–80

- MAC: sevo 2 %, des 6 % B/G: sevo 0,65, des 0,42**

Ryu KH et al.: Does Equi-Minimum Alveolar Concentration Value Ensure Equivalent Analgesic or Hypnotic Potency?: A Comparison between Desflurane and Sevoflurane *Anesthesiology*. 2018 Jun;128(6):1092-1098. doi: 10.1097/ALN.0000000000002158.

Ryu KH et al.: Desflurane reduces intraoperative remifentanil requirements more than sevoflurane: comparison using surgical pleth index-guided analgesia. *Brit J Anaesth* 2018 Nov;121(5):1115-1122

Does Equi-Minimum Alveolar Concentration Value Ensure Equivalent Analgesic or Hypnotic Potency?

A comparison of 1.0 MAC desflurane and sevoflurane in 89 patients



Stimulus: Standard tetanic stimulation
 Analgesic estimate: Surgical pleth index (SPI)
 Hypnotic estimate: Bispectral index (BIS)

Poststimulation SPI values (mean ± SD) at 1.0 MAC

Desflurane:	49 ± 10
Sevoflurane:	64 ± 14
Difference:	15 [95% CI, 10 to 20], P<0.001



Poststimulation BIS values, median [interquartile range]

Desflurane:	36 [31 to 41]
Sevoflurane:	41 [38 to 47]
Difference:	6 [95% CI, 2 to 9], P=0.001

A steady-state of 1.0 MAC desflurane and sevoflurane showed different surgical pleth index and BIS values under a standardized nociceptive stimulus.

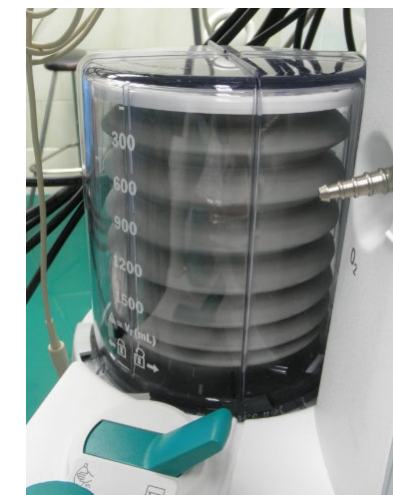
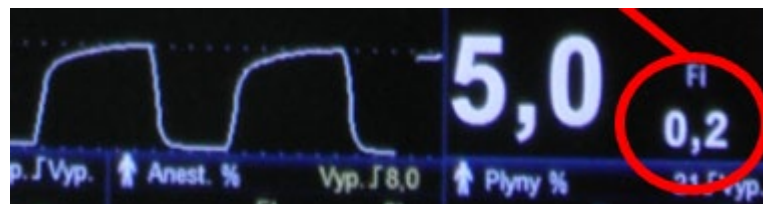
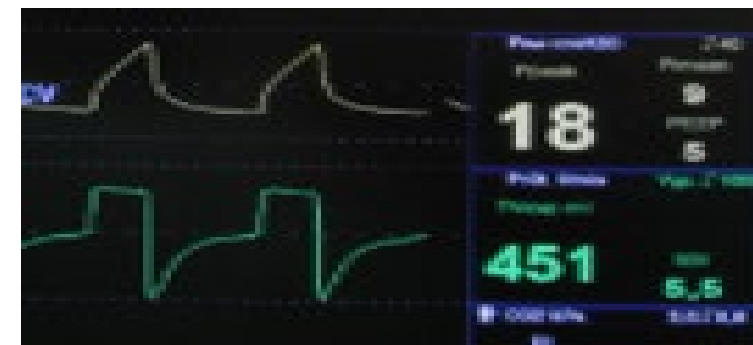
Ryu et al. Does Equi-Minimum Alveolar Concentration Value Ensure Equivalent Analgesic or Hypnotic Potency? *ANESTHESIOLOGY*. June 2018.

ANESTHESIOLOGY
 The Journal of the American Society of Anesthesiologists, Inc. • anesthesiology.org

Jak to dělám já?



- GE Avance CS2, zapnuté alarmy na monitoru
- **modifikovaná technika dle Horwitz & Jacobsson**
- SFNT, lido, i. v. propofol, ev. relax, LM nebo OTI, **sevo**
- UPV 10 x 7 ml/kg, 1:2, Peep 5, normoventilace!
- **FGF 0,5-1 l/min, sevofluran 6-8 %, FiO₂ 0,4-0,5**
- alarm FiO₂ < 0,3, MAC_{age}, alarm Fi_{sevo} 3 %
- kontrola PIP, výdechové křivky
- funkce absorbéru: FiCO₂ < 0,4 kPa
- dostatek plynů v systému
- hloubka anestezie dle MAC_{age} a ev. pEEG
- ev. coasting
- konec: FGF 4 l/min, převést na spont. vent.



Tak ?

Doba spuštění ventilace	16:21 7 září 2022	
Spotřebovaný plyn	O2	264,75 l
	Vzduch	456,40 l
	N2O	0,00 l
Spotřeba anestetik	Sev	108 ml
	Des	0 ml
	Enf	0 ml

Σ 721 l = 1,7 l/min
108 ml = 15,4 ml/h

... nebo tak?

muž, 30 let, 65 kg

Doba spuštění ventilace 16:21
7 září 2022

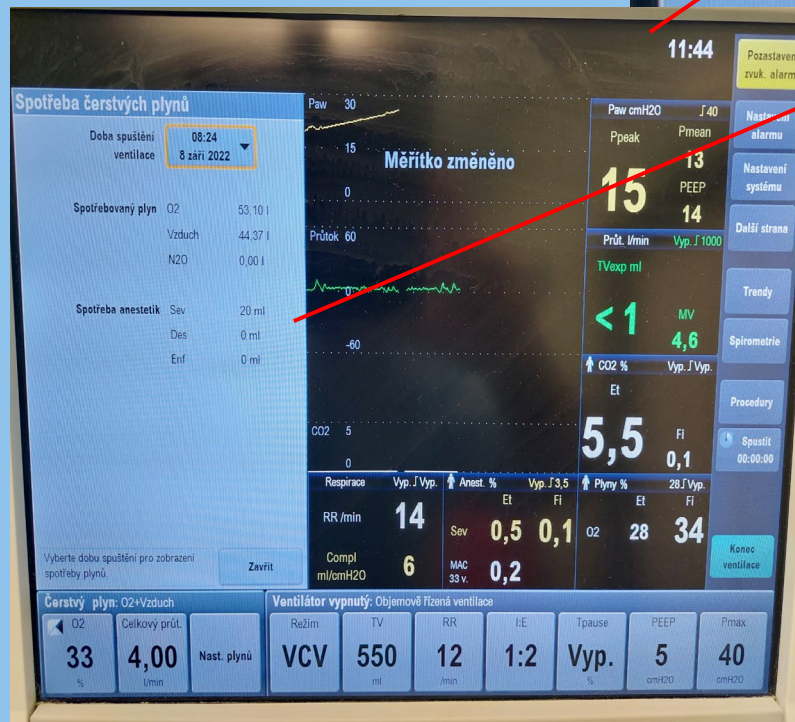
Spotřebovaný plyn	O2	264,75 l
	Vzduch	456,40 l
	N2O	0,00 l

Spotřeba anestetik	Sev	108 ml
	Des	0 ml
	Enf	0 ml

$\Sigma 721 \text{ l} = 1,7 \text{ l/min}$
 $108 \text{ ml} = 15,4 \text{ ml/h}$

8.9.2022

muž, 33 let, 63 kg
 aorto-bifemorální bypass
 kombin. anestezie



Spotřeba čerstvých plynů

Doba spuštění ventilace 08:24 -11,44 = 200 min
 8 září 2022

Spotřebovaný plyn	O2	53,10 l	} 97,5 l, tj. 0,5 l/min
	Vzduch	44,37 l	
	N2O	0,00 l	

Spotřeba anestetik	Sev	20 ml	20 ml, tj. 6 ml/hod
	Des	0 ml	
	Enf	0 ml	

Anesteziologie a intenzivní medicína 2020/A

ISBN 978-80-7471-341-5

ROČNÍK 31, ROK 2020, Suppl. A (PROSINEC)

Supplementum

Inhalační anestetika



Vzdělávací materiál určený pro přípravu na test po ukončení základního anesteziologického kmene a na atestační zkoušku pro získání specializované způsobilosti v oboru Anesteziologie a intenzivní medicína.

Indexováno v EMBASE, Excerpta Medica, Scopus,
Emerging Sources Citation Index.
Excerptováno v Bibliographia medica československa,
ERSCD – ACADEMIC SEARCH COMPLETE.



Literatura

Supplementum AIM
Anestezie s nízkým příkonem plynů

Další literatura

- Baxter AD.: Low and minimal flow inhalational anaesthesia. Can J Anaesth 1997;44:643-52.
- Baum JA: Low-flow anesthesia: theory, practice, technical preconditions, advantages, and foreign gas accumulation. J Anesth. 1999;13(3):166-74.
- Brattwall M, Warrén-Stomberg M, Hesselvik F, Jakobsson J: Brief review: Theory and practice of minimal fresh gas flow anesthesia. Can J Anesth 2012;59:785–797.
- Hendrickx J et al.: Inhaled anaesthetics and nitrous oxide. Complexities overlooked: things may not be what they seem. Eur J Anaesthesiol 2016; 33(9):611-9.
- Baum JA: Low Flow Anaesthesia with Dräger Machines. (134 s, ISBN 3-926762-30-6)
<https://www.draeger.com/library/content/rsp-curves-and-loops-booklet-9097339-en.pdf>
- Hönemann C, Mierke B: Low-flow, minimal-flow and metabolic-flow anaesthesia. Clinical techniques for use with rebreathing systems. www.draeger.com ©2015
<https://www.draeger.com/Products/Content/low-minimal-flow-anaesthesie-bk-9067990-en.pdf>
- Hendrickx JFA: navat.org, pubmed.gov
- software Gas Man® (gasmanweb.com) firmy Med Man Simulations
- Hendrickx JFA, Nielsen OJ, De Hert S, De Wolf AM: **The science behind banning desflurane:** A narrative review. Eur J Anaesthesiol. 2022 Aug 30.
doi: 10.1097/EJA.0000000000001739.

