

Anestezia cu flux redus, explicată simplu

Paul Zilberman¹

¹Departamentul de Anestezie, Centrul Medical Universitar Hadassah, Campusul Har Hatzofim, Ierusalim, Israel

Autor corespondent:

Dr. Paul Zilberman, MD,
Departamentul de Anestezie
Centrul Medical Universitar Hadassah
Campusul Har Hatzofim, Kiryat Hadassah, POB 12000
Ierusalim, 91120, Israel
e-mail: paulzi60@yahoo.com

Low flow anesthesia made simple

Paul Zilberman¹

¹Department of Anesthesia, Hadassah Medical Center, Har Hatzofim Campus, Jerusalem, Israel

Corresponding author:

Dr. Paul Zilberman, MD
Department of Anesthesia
Hadassah Medical Center
Har Hatzofim Campus, Kiryat Hadassah, POB 12000
Jerusalem, 91120, Israel
e-mail: paulzi60@yahoo.com

Rezumat

Anestezia cu flux redus (LFA, în engleză) a fost descrisă mai demult [1, 2]. E dificil de dat o definiție exactă a acestei metode, deoarece și criteriile de definire sunt diferite. Toate au, însă, o trăsătură comună: folosirea fluxurilor mai mici decât ventilația pe minut a pacientului. Inițial, această metodă a fost utilizată doar de un număr redus de anesteziști datorită complexității generate de lipsa analizatoarelor de gaz [3]. Apariția și dezvoltarea progresivă a acestor aparate a făcut LFA mult mai ușor de aplicat. Dar generații întregi de clinicieni au fost instruiți să utilizeze fluxuri mult mai apropiate de „zona de confort”, și anume – ventilația pe minut a pacientului. Tehnica LFA își face din nou drumul către sălile de operație. Cu toate acestea, lipsa unei înțelegeri corecte și teama de așa-zisa noutate, precum și modelele matematice complicate din articolele despre LFA, de neînțeles pentru majoritatea anesteziștilor, nu ajută la răspândirea largă a acestei tehnici, făcând acest proces foarte dificil [4, 5]. Acest articol încearcă să transforme noțiuni și formule complicate în „instrumente de lucru” simple și ușor de aplicat în practica zilnică.

Cuvinte cheie: anestezie, circuit anestezic, flux redus, flux minim, flux metabolic, masă corporală, temperatură corporală, umidificare, protecția căilor aeriene, constantă de timp, flux de gaz proaspăt.

Scurt istoric

Încă din 1850, John Snow și-a dat seama că o mare parte din anestezicele inhalatorii erau returnate nemodificate în aerul expirat de pacienți. Astfel, el a tras concluzia, dar a și demonstrat că efectul narcotic poate fi prelungit semnificativ

Abstract

Low Flow Anesthesia (LFA) has been described many years ago [1, 2]. There is difficulty in exactly defining it because there are also different criteria. But all have in common one characteristic: using flows less than the patient's minute volume. In the beginning this method has been the focus of only a limited number of anesthesiologists due to the complexity generated by the lack of gas analyzers [3]. The appearance and the progressive development of such devices made the LFA much easier to apply. But generations after generations of practitioners were trained to use flows closer to their „comfort zone”, the minute ventilation of the patient. The LFA technique is making its way again towards the operation rooms. However, the lack of correct understanding and fear of so called novelty and complicated mathematical modelling associated with low-flow anesthesia articles, incomprehensible to the majority of anesthesiologists, has not assisted the widespread utilization of appropriate fresh gas flows and make this process extremely difficult [4, 5]. This article is trying to transform complicated notions and formulas in easy to understand and apply „working tools” in the daily practice.

Key words: anesthesia, circle system, low flow, minimal flow, metabolic flow, body weight, body temperature, humidification, airway protection, time constant, fresh gas flow.

Short history

As early as in 1850, John Snow recognized that a considerable amount of inhalation anesthetics were exhaled unchanged in the expired air of anaesthetized patients. He concluded and could prove that the narcotic effect could be mark-

prin reinhalarea acestor vapori. În 1924, au fost introduse în practică sistemele cu re-inspirație, echipate cu absorbante de dioxid de carbon. În timp ce Ralph Waters folosea un sistem de re-inspirație de tip „înainte și înapoi”, un ginecolog german, Carl J. Gauss și un chimist, Hermann D. Wieland, au propus folosirea unui sistem anestezic în circuit pentru aplicarea acetilenei purificate în calitate de gaz anestetic. Introducerea gazului anestetic ciclopropan, în 1933, care era foarte inflamabil, a determinat anesteziștii să folosească fluxuri cât mai mici posibil pentru a reduce poluarea sălilor de operație și, în modul acesta, să minimalizeze riscul de explozii accidentale.

Halotanul a fost introdus în arsenalul anestezic în anul 1954. Pe atunci, era un gaz anestetic nou, caracterizat printr-o mare putere anestezică, dar, în același timp, de o fereastră terapeutică redusă. Pentru asigurarea securității pacienților, folosirea acestui gaz era legată strâns de cunoașterea concentrației vaporilor utilizați. Estimarea acestei concentrații era posibilă și simplă, doar dacă se folosea un flux de gaz proaspăt (FGP) ridicat și o proporție redusă a gazelor reinhalate. Vaporizatoarele din acea vreme nu erau suficient de exacte în regim de flux redus. Astfel, deși aproape toate mașinile de anestezie erau deja echipate cu sisteme de reinhalare sofisticate, în mod paradoxal, în practica de rutină se foloseau fluxuri de gaz proaspăt de 4-6 l/min, eliminând, astfel, orice reinhalare de gaze.

Dezvoltarea aparatelor moderne de anestezie, disponibilitatea largă de analizoare complexe de gaz, creșterea gradului de conștientizare a protecției mediului, introducerea de noi gaze anestezice avantajoase clinic, dar cu preț de cost ridicat, precum și tendința mondială de a eficientiza resursele economice dedicate sectorului medical au condus, treptat, la reapariția interesului pentru tehnicile cu flux redus. Această tendință trebuie încurajată [6].

Noțiuni de bază

În mod tradițional, circuitele anestezice au fost clasificate de tip deschis, semi-deschis, semi-închis și închis. Această clasificare se raporta la legătura între FGP, absorbția gazelor anestezice și ventilația pe minut. Această clasificare a generat multe confuzii, deoarece nu se poate măsura fiecare parametru în mod independent. Dacă sistemele deschise sunt ușor de perceput, iar un sistem închis e posibil de realizat doar teoretic, deosebirea dintre celelalte două e, practic, artificială. Deși, utilă din punct de vedere didactic, această clasificare are o valoare redusă în practica zilnică. Circuitul semi-închis e definit ca unul în care ventilația pe minut e mai mare decât FGP, iar acesta din urmă e mai mare decât absorbția de către pacient. În sistemul semi-deschis, FGP e mai mare decât ventilația pe minut.

Consumul bazal de oxigen (VO_2) fusese măsurat cu mulți ani înainte [7] și exprimat în formula care include masa corporală (MC). Pentru simplificare, e calculat ca: $VO_2 = 3,5 \times MC$ și exprimat în ml/kg/min.

Constanta de timp, având ca simbol litera grecească „tau” (τ), este o noțiune algebrică ce descrie evoluția în timp a unui sistem în echilibru atunci când asupra sa se exercită o forță constantă, până când sistemul ajunge la un nou nivel de echilibru. Pentru anestezia volatilă, această formulă este:

edly prolonged by inhaling these unused vapors. In 1924, rebreathing systems equipped with carbon dioxide absorbers were introduced into anesthetic practice. While Ralph Waters used a „to-and-fro” system, the German gynecologist Carl J. Gauss, and the chemist Hermann D. Wieland did advocate the use of a circle system for application of purified acetylene as an inhalation anesthetic. The introduction of the highly combustible anesthetic gas cyclopropane in 1933 urged anesthesiologists to use fresh gas flows as low as possible to reduce pollution of the operating room and, thus, to minimize the risk of inadvertent explosions.

In 1954, halothane was introduced. It was a new volatile anesthetic, characterized by high anesthetic potency, yet narrow therapeutic width. To ensure patients safety, the use of this anesthetic was bound to the knowledge of the applied vapor concentration. Its estimation, however, only was simple and easy if a high fresh gas flow was used and the proportion of rebreathing was kept rather low. The vaporizers available at that time, didn't work sufficiently reliably and precisely in the low flow range. Thus, although nearly all anesthetic machines were already equipped with sophisticated rebreathing circle systems, paradoxically, it became clinical routine to use fresh gas flows as high as 4 to 6 l/min, completely excluding any significant rebreathing. In many countries this is still the routine way to execute inhalational anesthesia.

The development of modern anesthetic apparatus, the availability of comprehensive gas monitoring, an increasing environmental awareness, the introduction of new advantageous but expensive inhalational anesthetics, and the worldwide restriction of economic resources in medical care, a seemingly trend towards low flow techniques can be observed – and should be encouraged [6].

Basic notions

Traditionally, the breathing circuits have been classified in open, semi-open, semi-closed and closed. This classification related the fresh gas flow to the uptake and the minute ventilation. However, it was a source of confusion because no one can measure exactly each parameter independently. While the open system is easy to conceive and a closed system is only theoretically possible, the distinction between the other two is rather artificial. It may still be useful as a didactic tool, but less relevant in the clinical practice. A semi closed circuit has been defined as one in which the minute ventilation is bigger than the FGF and the FGF bigger than the uptake. In a semi open one the FGF is bigger than the minute ventilation.

Basal (metabolic) oxygen consumption (VO_2) has been measured long ago [7], expressed in a formula that include the body weight (BW). For simplicity, it is calculated as: $VO_2 = 3.5 \times BW$ and expressed in ml/kg/min.

The time constant, written as the Greek letter „tau” (τ) is an algebraic notion that describes the evolution in time of a system in equilibrium when a changing force is applied upon it, until the system reaches a new equilibrium. For the volatile anesthesia it is expressed as:

$$\tau = \text{VOLUM}/\text{FLUX}$$

Din formula dată, se poate ușor deduce următorul lucru: deoarece volumul (circuitul respirator și plămâni) este constant, numai fluxul poate fi variabil. Prin variabilitate se are în vedere evoluția compoziției gazului din circuitul respirator și plămâni atunci când fluxul e schimbat. Se pot, de asemenea, obține combinații complexe, modificând și gradul de deschidere/închidere a vaporizatorului, dar pentru simplificarea percepției, ne limităm doar la modificarea fluxului.

Toate aceste elemente par dificil de „absorbit”, la prima vedere, dar devin foarte simple odată ce noul adept al LFA începe să însușească procesul.

De ce avem nevoie pentru folosirea în siguranță a anesteziei cu flux redus?

E poate surprinzător faptul, dar, odată cu perceperea primelor noțiuni de LFA, – până și cu cele mai simple mașini de anestezie această tehnică poate fi aplicată în deplină siguranță. Important e că mașina respectivă de anestezie să fie corect întreținută! Din punct de vedere practic, FGP nu poate fi redus prea mult, dacă mașina are pierderi mari. Dar dacă aceste pierderi sunt depistate și măsurate, toate celelalte calcule încep din acest punct mai departe, adică după compensarea prin flux a acestor pierderi [8].

Conformația circuitului este, de asemenea, importantă. Dacă evacuarea analizatorului de gaz este direcționată către sistemul de ventilare (l. engl. *scavenger*), atunci N_2O poate fi folosit fără probleme. Dar; dacă evacuarea analizatorului e redirecționată către circuit (conformație numită „circuit închis”), atunci N_2O trebuie evitat, deoarece se acumulează rapid în circuit datorită coeficientului de solubilitate redus. În această situație, LFA trebuie evitată, pentru că hipoxia se poate instala rapid. Or, reamintim că un circuit închis ideal e imposibil de realizat, deoarece și cea mai bună mașină de anestezie tot are pierderi.

Ca instrument principal, un analizator fiabil de gaz, rapid și calibrat, TREBUIE întotdeauna folosit în LFA. Și, de asemenea, anesteziștii, cel mai important „component” în această „conformație”, trebuie să stăpânească la perfecție teoria din spatele LFA.

Când se poate folosi anestezia cu flux redus?

LFA se poate folosi oricând e cunoscută anamneza pacientului. În urgențe și nu numai, indiferent de natura acestora, prima prioritate rămâne siguranța pacientului. Pacienții pot veni intoxicați, cu dezechilibre metabolice și cu multe altele. Dacă atenția anesteziștilor, în aceste cazuri, este îndreptată spre activități, precum LFA, viața pacientului este în pericol. De aceea, e nevoie de a stabili o ordine de priorități, excluzând adoptarea unor practici doar din motive de „competiție” [9].

Cum să aplicăm anestezia cu flux redus?

Ca și în alte domenii din medicină, și în anestezie nu există o metodă „cea mai bună” – există suficientă literatură în acest sens [10, 11]. Descriu în acest articol doar modul meu personal de progres, atenționând cititorul, că sunt și alte metode de

$$\tau = \text{VOLUME}/\text{FLOW}$$

From this formula it is easy to understand that while the volume (lungs and circuit) is constant only the flow can play a role in this change. By change we understand the evolution of the composition of the gas within the circuit and lungs once the flow is changed. Complex combinations can be done by modifying the vaporizer dial too, but for the simplicity of the understanding we limit only to the flow change.

All these elements seem difficult to „absorb” at the first glance, but they are very simple once the new adept of the LFA is starting to understand the process.

What do we need for a safe low flow anesthesia?

It is surprising to learn, once one advances understanding of the very basics of LFA that even with the most simple anesthesia machines this technique can be applied perfectly safe. All it takes is a correctly maintained anesthesia machine! Strictly speaking, one cannot lower the flows too low if the machine has large leaks. However, if those leaks are measured, the whole calculations are started from that point on and, as such, compensated for [8].

The circuit conformation is important too. If the gas analyzer exhaust gas is diverted to the scavenging system, N_2O can be used without problems. But if the gas analyzer exhaust is redirected to the breathing circuit, a conformation called closed circuit, then N_2O must be avoided as it builds up quickly in the circuit due to its low solubility coefficient. In this situation the LFA must be avoided as hypoxia can develop rapidly. At this point it must be remembered that an ideal closed circuit is impossible to achieve as even the best anesthesia machine has leaks.

As a main instrument, a reliable, fast and calibrated gas analyzer MUST be always used when in LFA. And, of course, the anesthesiologist, the most important piece in this „conformation” must be perfectly knowledgeable of the theory of LFA.

When can low flow anesthesia be used?

LFA can be applied anytime the patient’s medical history is known. In an emergency, no matter its nature, the first priority remains the patient’s safety. Patients may arrive intoxicated, with different metabolic derangements and others. If the anesthetist’s attention is even partially diverted to other tasks like LFA, the patient’s life is in danger. So, we need to prioritize the things and not just go on with a certain technique „just for the record” [9].

How to do low flow anesthesia?

As in any other fields of medicine there is no „best solution”. Extensive literature can be found elsewhere too [10, 11]. I describe here the way I did it, pointing the reader’s attention to the fact that other ways of learning LFA can be good as well.

1. Start by reading and understanding the theory.
2. Be sure to know the exact conformation of the circle system (closed or not). Depending on that you decide if to use N_2O or not.
3. Start with someone already experienced.

însușire, la fel de bune și utile. Esențialul e să se aplice următoarele:

1. Citirea și înțelegerea elementelor teoretice.
2. Cunoașterea exactă a conformației circuitului anestezic (închis sau nu). În funcție de aceasta, se decide folosirea N_2O sau nu.
3. Inițierea în metoda dată se face sub observația unui instructor cu experiență.
4. Se începe cu cazuri de lungă durată, cu pacienți necomplicați.
5. Indiferent cu ce fluxuri sunteți obișnuiți să lucrați, trebuie de început prin reducerea fluxului total cu 50 ml/săptămână. Această metodă vă va ajuta la formarea unui model mintal de reducere graduală a fluxului și vă va conduce la un mod organizat de setare a unui anumit flux. Continuați doar până la acel nivel, când considerați că ați dobândit îndemânarea necesară. În orice caz de nesigurantă, nu ezitați să cereți AJUTOR IMEDIAT!

În rest, totul se reduce la obișnuitul parcurs: „CITIT – ÎNȚELES – APLICAT – FEED BACK – CORECTAT”. După mai mulți ani de utilizare a fluxurilor mari (de obicei, 2-4 litri pe minut), pare incomod să se folosească fluxuri în zona de 0,7 litri pe minut și chiar mai puțin. Totuși, se merită de perseverat în această direcție – rezultatele nu vor întârzia să vină.

Concluzii

LFA a fost privită ani la rândul mai mult ca o curiozitate, o tehnică aplicată doar de entuziaști. În era actuală, cu mașini de anestezie moderne și monitoare fiabile, LFA e o metodă de lucru perfect sigură. Totodată, considerentele financiare și de protecție a mediului au început să joace un rol tot mai important în modul cum se efectuează anestezia volatilă [12, 13].

În același context: nu există un consens general asupra modului, în care sala de operație trebuie concepută cu privire la mașinile de anestezie – fie a avea un singur model în toate sălile, fie a avea modele diferite. În prima situație, orice anestezist, trecând dintr-o sală de operație în alta, știe, adesea prin reflex, unde se află fiecare buton sau indicator pe monitor. Astfel, se pot minimiza erorile legate de interfața „om – mașină”. În cea de-a doua variantă, atenția anestezistului e „trezită” din nou atunci când se trece de la un model de mașină de anestezie la altul. Cu toate că, în momentul de față, e dificil să se tragă o concluzie definitivă.

Cel mai important, totuși, în aplicarea în siguranță a LFA, rămâne factorul uman. Anestezistul trebuie să aplice cunoștințe teoretice solide la condițiile concrete din sala de operație. Concluzionând, LFA este, în prezent, o metodă de lucru atât de sigură, încât nu ar trebui să existe nici o rezervă în a o aplica.

Declarația de conflict de interese:

Nimic de declarat.

4. Start in longer and elective cases, with uncomplicated patients.
5. No matter with what flows you are used to work with, start by reducing the total flow by 50 ml/week. This will help you progressively build a mental sliding scale and get you used to an organized track to get to a certain flow. The moment you feel uncomfortable stop at that level and continue only when you feel safe. In any case of uncertainty don't hesitate and CALL FOR HELP.

All the rest is the usual „READ – UNDERSTAND – APPLY – FEED BACK – CORRECT” sequence of things. After many years of working with higher flows, usually in the 2-4 liters per minute range, it may seem uncomfortable to go as low as 0.7 liters per minute and even lower. However, once the theory and practice build up in front of the clinician's eyes, confidence follows quickly.

Conclusions

LFA has been regarded for many years as a curiosity, a technique that only a few dedicated enthusiasts applied. In the modern era with modern anesthesia machines and very reliable monitors, the LFA is a perfectly safe method. Financial and environmental concerns started playing a more and more role in the way volatile anesthesia is performed [12, 13].

One more idea needs to be brought front. There is not a definite consensus about the way the ORs must be conceived concerning the anesthesia machines. Either have a single model in all the ORs of a certain hospital or have different models. In the first situation each anesthetist moving from one room to another knows automatically where and when each button or screen indicator is situated. Thus, the chances of error due to human-machine interface error are minimized. In the second situation the attention of the anesthesiologist is „aroused” again as he/she must fit in to every anesthesia machine. It is difficult for the moment to draw a definitive conclusion.

The most important factor, yet, in applying safe LFA, remains the human factor, that needs to apply solid theoretical knowledge to the concrete conditions in his/her specific environment. With all the above mentioned conditions the LFA is nowadays such a safe way of working that there should be no reason not to apply it.

Declaration of conflicting interests:

Author declares no financial or non-financial conflicts of interest.

Referințe / references

1. Kety S. The physiological and physical factors governing the uptake of anesthetic gases by the body. *Anesthesiology*, 1990; 11: 517.
2. Kety S. The theory and applications of the exchange of inert gas at the lung and tissues. *Pharmacol Rev*, 1951; 3: 1.
3. Anesthesia gas monitoring – evolution of a *de facto* Standard of Care. Published by ProMed Strategies, LLC, under an educational grant from PHASEIN AB, Sweden, Copyright© 2009; ProMed Strategies, LLC.
4. <http://ehealth.eletsonline.com/2013/09/how-low-can-you-flow>.
5. Hendricks J. F. The pharmacokinetics of inhaled aneshtetics and carrier gases. June 18, 2004, Chapter 8 (Introduction), page 186.
6. Baum J., Aitkinhead A. Low Flow Anesthesia. *Anesthesiology*, 1995; 50(Suppl. 37): 44.
7. Brody S. Bioenergetics and growth. Reinhold Publishing Corporation, 1945.
8. Marja Lajunen R. What and Why of low flow anesthesia. Clinical Window, Educational Support, Datex-Ohmeda Division Instrumentarium Corp., Helsinki.
9. Baum J. Low Flow Anesthesia with Drager Machines. pages 108-117. (http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Products/ane_Vapor_D_Vapor/DE/M-644-Low%20low-Anaesthesia.pdf).
10. Ibidem 9, pages 118-128.
11. Ibidem 5, Chapter 8, pages 185-193.
12. Suttner S., Boldd J., Low Flow Anesthesia – does it have potential pharmacoeconomic consequences? Review article. *Pharmacoeconomics*, 2000; 17(6): 585-590.
13. Ryksen E., Diedericks B. Calculation of comparative utilization and cost: a South African perspective on intravenous vs. inhalational anaesthesia for procedures of differing duration. Original research. *South Afr J Anaesth Analg*, 2012; 18(6): 310-317.