

Bättre teknik för gasanestesi bra för miljö, ekonomi och patient

Systematiskt förbättringsarbete gav resultat

STELLAN ERIKSSON, leg anestesijurkötterska, sektionsledare, anestesikliniken
stellan.eriksson@capio.se

SIXTEN BREDBACKA, leg läkare, sektionschef, centraloperation; båda Capio S:t Görans sjukhus AB, Stockholm

Inhalationsanestesi är en av de vanligaste administrationsformerna för generell anestesi. Den vanligaste tekniken är att patienten andas i ett partiellt återandningssystem, där utandad gas renas från koldioxid och återanvänds (cirkelsystem). Färskgas innehållande syre blandat med anestesigaser, t ex lustgas och sevofluran, tillförs cirkeln. Det beräknade behovet av syrgas är för en vuxen individ 150–250 ml/min [1], och det är sålunda också den optimala färskgastillförseln till systemet.

När färskgasflödet regleras så att storleken på flödet motsvarar behovet (patientens upptag + eventuellt läckage) benämns det »slutet cirkelsystem«. Högre initiala flöden motiveras av behovet att nå tillräckligt anestesi djup inom rimlig tid. Högre flöden är även motiverade under anestesi för att snabbare reglera anestesi djupet.

Historiskt har dock alltid ett stort överskott av färskgas administrerats för att säkerställa tillförsel av syrgas och kompensera för läckage i systemet.

Upptaget av anestesimedlet är beroende av koncentrationen av anestesigas i andningssystemet och patientens andningsvolym och blodcirkulation. Upptaget av anestesimedel är däremot inte beroende av hur stort färskgasflödet är till andningssystemet. Vanligast är att man tillför ett stort överskott av gas inklusive anestesimedel. Överskottsgasen går orenad ut i atmosfären med onödig miljöpåverkan som följd.

Målet med anestesi är att en viss koncentration ska uppnås i hjärnan. För att det ska ske måste cirkelkoncentrationen vara något högre än önskad koncentration i hjärnan; hur mycket högre beror på anestesimedlets löslighet. Hög förgasinställning i kombination med lågt färskgasflöde ger bästa utbyte beskrivet som kvoten mellan upptagen mängd och levererad mängd anestesimedel.

Lågflödesanestesi vidareutvecklas

Sedan mitten på 1980-talet har en betydande utveckling skett av anesthesiapparaterna med bla förbättrad och mer precis funktion. Möjligheterna att övervaka apparaterna och patientens fysiologiska funktioner under anestesi har också markant förbättrats. Avancerad övervakningsutrustning finns tillgänglig för användning i den dagliga anestesiverksamheten.

Den medicintekniska utvecklingen har givit förutsättningar för att vidareutveckla lågflödesanestesi. Målet har varit att reducera tillförseln av färskgas och anestesimedel till att närma sig det verkliga behovet. Genom att konsekvent använda lågflödesteknik kan dels kostnaderna minskas, dels miljön skonas.

Färskgasflödena har reducerats på de flesta operationsav-

»Med hjälp av simulatorprogrammet Gas Man, interaktiv nettoflödeskalkyl och en systematisk utbildningsinsats tillämpas i dag anestesi med låga flöden...«

delningar i Sverige, men ingen har ännu i stor skala använt så låga färskgasflöden som patienternas verkliga behov, dvs »slutet cirkelsystem«.

Ett viktigt påpekande här är att ur patientens perspektiv är alla system och flödesregimer ekvivalenta [2], värderat med endtidal anestesimedelkoncentration och kliniska parametrar.

En hörnsten för förståelsen av det partiella återandningssystemet vid anestesi är den sk nettoflödeskalkylen för flöden och gasblandning vid anestesi. Vid lågflödesanestesi är det särskilt viktigt med hänsyn till att blandningen i den tillförda färskgasen till andningssystemet skiljer sig från gassammansättningen i cirkeln, dvs den inandade gasen.

James H Philip, Brigham and Women's Hospital och Harvard Medical School, har utarbetat en kalkyl som pedagogiskt visar syrgashalten vid olika färskgasblandningar och flöden. Han har också utvecklat ett simulatorprogram för gasanestesi, Gas Man [3], som bygger på anestesigasers farmakokinetik.

Stellan Eriksson har av ovanstående kalkyl gjort en interaktiv version, som även tar hänsyn till lustgasupptaget över tid <<http://www.capiostgoran.se/netgasflow>>.

Lustgas kunde uteslutas

Lustgas är en miljöpåverkande gas, vars växthuseffekt är ca 300 gånger större än den av koldioxid [4].

Miljöhänsyn kräver en fortsatt minskning av lustgasutsläppen. Frågan drivs också av Sveriges Kommuner och landsting som ett viktigt miljömål.

Under den första minuten av anestesi är lustgasupptaget ca 1 l/min för att sedan avta [5]. Det innebär att man förutom

■ sammanfattat

Gasanestesi har traditionellt inneburit att ett överskott av såväl syrgas som anestesimedel använts med hög förbrukning och utsläpp.

Vi har bedrivit ett systematiskt förbättringsarbete i syfte att minska förbrukningen av anestesimedel och utsläppen till miljön genom att gå från lågflöde till nästan slutet system.

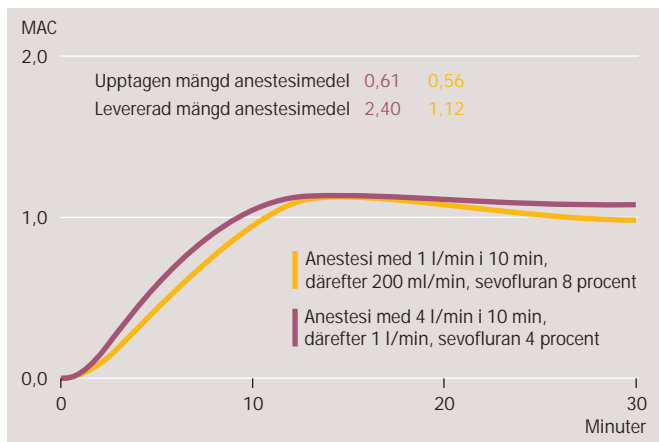
Ett utbildningspaket med katedrala föreläsningar, simula-

torträning och klinisk undervisning har använts.

Kunskapen om gaskinetik har ökat. Vår nya rutin ger också en mjukare induktion med minskad risk för relativ överdosering.

Förbrukningen av anestesimedel har minskat med 35,1 procent under de första 12 månaderna efter införandet.

Utsläppen av anestesimedel har reducerats. Lustgasutsläppet är noll.



Figur 1. Koncentration av sevofluran i hjärnan, från simulering i Gas Man version 4. Siffrorna visar att patientens upptag är detsamma men att förbrukningen (levererad) av sevofluran i det ena fallet är dubbelt så hög (röd) (MAC = minimum alveolar concentration).

behovet av syrgas också tillför den mängd lustgas som motsvarar upptaget, från 1000 ml/min till 100 ml/min; här krävs således en mer aktiv reglering för att nå önskad gasblandning. Det högre totala färskgasflödet medför att mer sevofluran tillförs för att uppnå önskad koncentration i systemet.

Om man eliminerar lustgas i färskgasflödet innebär det att man kan dra ned färskgastillförseln till endast syrgas med ett flöde motsvarande patientens syrgasbehov. Detta medför att en mindre mängd sevofluran behöver tillföras för att nå önskad koncentration i patienten. Om vi utesluter lustgasen kan vi således förenkla och effektivisera vårt sätt att söva med gas.

Minskade utsläpp och enklare administration av anestesin

Anestesi-kliniken vid Capio S:t Görans sjukhus i Stockholm har använt lågflödesteknik under många år men med betydligt högre rekommenderade gasflöden. Induktionsflödet har legat runt 2–5 l/min och underhållsflödet mellan 0,5 och 1,5 l/min. På centraloperation har kostnaderna för sevofluran varit cirka 800 000 kronor per år.

För att reducera sevofluranförbrukningen och minska utsläppen har vi sänkt färskgasflödena de senaste åren. År 2009 införskaffades simulatorprogrammet Gas Man, och olika regimer testades. Arbetet med att utveckla en modell för inhalationsanestesi påbörjades och testades kliniskt. Tillgång till Gas Man (licenskostnad 7000 kr) och nettoflödeskalkylen finns nu på klinikens alla datorer. År 2010 startades en systematisk undervisning efter strikta riktlinjer för att förenkla gasanvändningen.

Målet med förbättringsarbetet har varit att introducera ett enklare sätt att administrera inhalationsanestesi genom

- ett strukturerat sätt att hantera färskgasflöde och förgasarinställning för en förbättrad förutsägbarhet
- ett förenklat arbetssätt och mer tid till andra uppgifter kring patienten
- ett effektiviserat utnyttjande av anestesimedlet.

Förutsättningarna fanns:

- lustgas fasas ut
- sevofluran uppfyller kraven på låg löslighet för att upprätthålla hög koncentration i cirkelsystemet vid lågflödesanestesi

- adekvat övervakningsutrustning, tät anesthesiapparat och doseringsanordning kalibrerad för låga flöden.

METOD

Vi använde följande verktyg för att utbilda anesthesiläkare och anesthesisjuksköterskor:

- katedral undervisning baserad på Gas Man (Figur 1) och nettoflödeskalkylen
- undervisning och praktiska övningar med Gas Man
- klinisk undervisning
- skriftlig rutin för handläggning av sevoflurananestesi med lågflödesinduktion och underhåll motsvarande beräknade behov, »slutet cirkelsystem«.

Uppföljning gjordes med föreläsningar och klinisk handledning samt kontroll av sevofluranförbrukningen.

Vår modell för inhalationsanestesi till vuxna patienter

Modellen omfattar sedvanlig monitorering inklusive pulsoxiometri, spirometri och endtidal CO₂-mätning, O₂ och anestesigas, såväl inspiratoriskt som expiratoriskt. Larm finns för tom ventilatorbälge och för låg inandad O₂-halt i patientsystemet.

Intravenös induktion och luftvägskontroll med larynxmask eller endotrakealtub görs.

Efter lungrekrytering används vanligen tryckkontrollerad ventilation och PEEP. Syrehalten i cirkeln (FiO₂) är hög efter preoxygeneringen, och färskgasflödet (FGF) ställs mellan 0,5 och 1 l/min beroende på bl a patientens vikt, t ex O₂ 0,2 l/min och luft 0,5 l/min. Målet är FiO₂ runt 40–60 procent. Förgasaren sätts på 8 procent sevofluran. Efter ca 5–10 min är den alveolära koncentrationen ca 2 procent (≈1 MAC [minimum alveolar concentration]). FGF sänks till ca 0,2 l/min syrgas, vilket är det beräknade syrgasupptaget vid anestesi. Förgasaren får stå kvar på 8 procent. FGF och förgasarinställning justeras så att högsta möjliga förgasarinställning i lägsta möjliga FGF ger önskad koncentration i patienten.

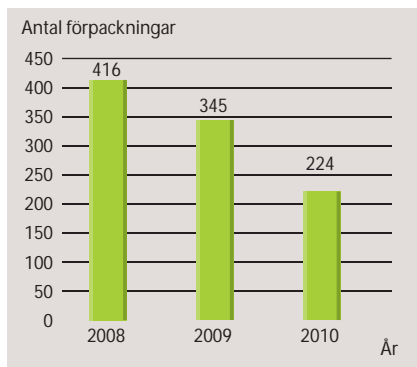
Vid behov av snabba förändringar ökas FGF till 0,8 l/min med förgasaren antingen på max eller av. Under pågående anestesi bör FGF hållas under 1 l/min; högre flöde är i allmänhet nödvändigt endast vid väckning.

Patientens syrgaskonsumtion kan inte enkelt beräknas kliniskt, men kan uppskattas genom indirekta metoder:

- Om man tillför O₂ 200 ml/min och det motsvarar patientens behov inklusive eventuellt läckage kommer ventilatorbälgen att fylla sig mellan varje andetag. Om patientens syreförbrukning och läckaget överstiger tillförd mängd kommer bälgen att sjunka tills den är helt tömd. Om patientens syrgasbehov inklusive läckage är mindre än vad som tillförs kommer ventilatorbälgen att expandera till toppen av behållaren och överskottsventilen öppnas.
- Om patientens syrgasbehov motsvarar tillförd FGF kommer cirkelns FiO₂ att i princip hållas konstant. Om patienten har högre syrgasbehov än tillförd sjunker cirkelns FiO₂. Om patienten har lägre syrgasbehov än tillförd O₂ stiger FiO₂ i cirkeln. Viss påverkan med sänkt FiO₂ fås av kväve från vävnaderna, som beräknas till ca 5–10 procent under de första 40–60 minuterna.

Under anestesi minskar behovet av anestesigastillförsel successivt, varför förgasarinställningen kan sänkas med ca 1 procent per timme med början efter 75–90 minuter.

Vi varnar för att tillföra blandgas innehållande luft vid anes-



Figur 2. Förbrukning av antal sevofluranförpackningar (å 250 ml) under 2008–2010 vid centraloperation, Capio S:t Görans sjukhus i Stockholm.

cirkeln, vilket är vanligt. För att hantera detta är vårt mål för FiO_2 efter induktionen lite högre än traditionellt, 40–60 procent.

Vid avslut av anestesi får man maximal utsköljning av anestesigas om man ventilerar patienten med FGF motsvarande drygt minutventilationen. Utsköljningstiden från 2 procent (ca 1 MAC) till <0,6 procent (0,3 MAC \approx MACawake) är ca 4–6 min.

Det finns situationer som kräver snabbare induktion och/eller förändringar i anestesidjup. Man kan öka färskgasflödet ytterligare för att snabbare förändra anestesidjupet. Därefter kan man återgå till ett miljömässigt och ekonomiskt mer fördelaktigt färskgasflöde. Det bör poängteras att vi inte förändrat någonting i vår anestesi given till patienten (Figur 1); vi följer samma etablerade kriterier för bedömning av anestesidjup som vid anestesi med mer traditionella färskgasflöden.

Bildningen av compound A, som tidigare diskuterats i samband med låga flöden, anses i dag inte vara ett kliniskt problem. Läkemedelsverkets produktresuméer 2010 för sevofluran anger inga flödesrestriktioner.

RESULTAT

Under 2010 har majoriteten av anesthesierna vid centraloperation vid Capio S:t Görans sjukhus genomförts enligt den nya rutinen. Förbrukningen av sevofluran har reducerats (Figur 2). Antalet ingrepp har ökat med 4,2 procent och antalet anestesitimmor har ökat med 0,7 procent jämfört med 2009 (Tabell I). Lustgasen är avvecklad.

Anestesipersonalen har uppfattat den ökade kunskapen positivt. De har fått en djupare förståelse för gasfarmakokinetik och tycker att anesthesierna blir mer kontrollerade och förutsägbara.

Anestesimedelskoncentrationerna stiger långsammare, vilket sannolikt ger mindre relativ överdosering under den inledande fasen av anestesi, dvs under förberedelsen av patienten. Ökad kunskap och standardiserad teknik gynnar patientsäkerheten.

DISKUSSION

Anestesi med låga färskgasflöden har varit i användning under många år men inte tillämpats konsekvent och systematiskt.

Med hjälp av simulatorprogrammet Gas Man, interaktiv

tesiunderhåll. Ventilatorbälgen kan då förbli fylld men med en hypoxisk blandning.

Vid strikt slutet system kommer kväve från vävnaderna att sänka FiO_2 , framför allt under den första timmen. Dessutom har många gasmonitörer egenskapen att de använder luft som referensgas [6], som kontinuerligt bidrar till att sänka FiO_2 om den tillförs

TABELL I. På centraloperation vid Capio S:t Görans sjukhus i Stockholm har antalet anestesitimmor med sevofluran och/eller lustgas ökat med 0,7 procent, och antalet ingrepp har ökat med 4,2 procent från 2009 till 2010.

| Period | Antal ingrepp | Timmor |
|--------|---------------|--------|
| 2008 | 4 750 | 9 102 |
| 2009 | 5 210 | 9 233 |
| 2010 | 5 427 | 9 295 |

nettoflödeskalkyl och en systematisk utbildningsinsats tillämpas i dag anestesi med låga flöden enligt fastställd rutin på Capio S:t Görans sjukhus. Utbildningen har koncentrerats under perioden november 2009 till maj 2010. Uppföljning fortsätter kontinuerligt. Därefter har vi infört metoden på Sophiahemmetts central- och dagoperation.

För att lyckas behövs bra pedagogiska verktyg, aktiv klinisk utbildning, uppföljning och goda kunskaper hos utbildarna. Vi har inte avsatt extra tid för katedrala föreläsningar utan använt planerade kvällsmöten och studiedagar; den extra resurs som använts är författarnas kliniska handledning. Risk för bakslag finns framför allt om kunskapsnivån är för låg och handledning saknas.

Redan under utbildningstiden har resultatet blivit en betydande reduktion av sevofluranförbrukningen. Det optimerade färskgasflödet minskar dessutom miljötrycket från onödig användning av anestesigas. En annan positiv effekt är att den återandade gasen är värmd och befuktad [7].

Uteslutandet av lustgasen betyder minskad miljöbelastning.

KONKLUSION

Med dagens teknik och moderna inhalationsmedel kan vi med en strukturerad utbildningsinsats förenkla vår handläggning av inhalationsanestesi. Det ger också positiva effekter på miljö, ekonomin och sannolikt patientsäkerheten.

■ *Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.*

■ *James H Philip, ägare av Gas Man och Med Man Simulations Inc <<http://www.gasmanweb.com>>, en icke-vinstdrivande välgörenhetsorganisation, har bidragit vid utvecklingen av den interaktiva nettoflödeskalkylen.*

Kommentera denna artikel på Lakartidningen.se

REFERENSER

1. Brody S. Bioenergetics and growth. New York: Reinhold; 1945.
2. Philip JH. Closed circuit anesthesia. In: Ehrenwerth J, Eisenkraft JB, editors. Anesthesia equipment – principles and applications. St. Louis: Mosby; 1993. p. 617–35.
3. Philip JH. Gas Man – an example of goal oriented computer-assisted teaching which results in learning. *Int J Clin Monit Comput.* 1986;3:165–73.
4. Ek M, Tjus K. Decreased emission of nitrous oxide from delivery wards – case study in Sweden. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* 2008;13:809–18.
5. Severinghaus JW. The rate of uptake of nitrous oxide in man. *J Clin Invest.* 1954;33:1183–9.
6. Hendrickx JF, van Zundert AA, de Wolf AM. Influence of the reference gas of paramagnetic oxygen analyzers on nitrogen concentrations during closed-circuit anesthesia. *J Clin Monit Comput.* 1998;14:381–4.
7. Bengtson JP, Bengtsson A, Stenqvist O. The circle system as a humidifier. *Br J Anaesth.* 1989;63:453–7.