

Blootstelling aan sevofluraan in operatiekamers, behandelkamers en verkoeverkamers gemeten in zeven Universitair Medische Centra.

Miriam van der Bij¹ en Zita Kolder²

Summary

In seven Dutch University Medical Centres measurement programs have been drawn up by occupational hygienists. The aim of the program was to evaluate the exposure to inhalation anaesthetics. Results confirm that exposure to sevoflurane is well controlled in operating rooms. Source approach (intravenous injection, spinal puncture or omit nitrous oxide) is the most effective way of preventing exposure to inhalation anaesthetics. When a mask is used regularly, it is highly recommended to use a double mask. When a mask is used incidentally, a double mask is recommended according to the ALARA principle, but not necessary. When uncuffed tubes and larynx masks are used, leakages occur more often in comparison with cuffed tubes. An uncuffed tube is only used on medical grounds (for instance small children). An anaesthesiologist can prevent peak exposure using careful methods: using a well fit mask, timely turn of the sevoflurane supply and prevention of disconnections. The focus has been shifted from operating rooms to rooms where inhalation anaesthetics are used, but ventilation and other conditions might not be optimal (e.g. surgeries and induction rooms). Despite a lower ventilation rate than required according to Dutch health and safety guidance the exposure to inhalation anaesthetics exposure is well controlled in recovery rooms.

Inleiding

Door de UMC's is in 2004 het Arboconvenant 'veilig werken met inhalatieanesthetica' opgesteld. Naar aanleiding van dit convenant hebben de UMC's gezamenlijk een Multigasmonitor aangeschaft. In zeven UMC's in Nederland zijn door arbeidshygiënist meetprogramma's opgesteld met het doel te beoordelen of blootstelling aan inhalatieanesthetica voldoende is beheerst. De metingen vonden plaats bij het toepassen van verschillende anesthesietechnieken en bij gebruik van verschillende inhalatieanesthetica. Blootstelling aan isofluraan, sevofluraan en lachgas is bepaald. Tussentijds werden ervaringen en meetgegevens uitgewisseld. Uiteindelijk is besloten om de resultaten van alle UMC's te bundelen. Meetgegevens van de UMC's uit de periode 2004 tot 2008 zijn geanalyseerd. De resultaten en beheersmaatregelen zijn in dit artikel samengevat.

Samenvatting

In zeven Universitair Medische Centra (UMC's) in Nederland zijn door arbeidshygiënist in de periode 2004-2008 meetprogramma's opgesteld met het doel te beoordelen of de blootstelling aan inhalatieanesthetica voldoende is beheerst. Uit de resultaten blijkt dat blootstelling aan sevofluraan in operatiekamers (OK's) voldoende is beheerst bij gebruik van de gangbare anesthesietechnieken. Bronaanpak (intraveneuze toediening, rugpenrik of geen lachgas gebruiken) is de meest effectieve manier om blootstelling aan inhalatieanesthetica te voorkomen. Bij regelmatig gebruik van kapaanesthesie in combinatie met dampanesthesie is een dubbelmasker sterk aan te bevelen. Bij incidenteel gebruik is dit volgens het ALARA principe wel aan te bevelen, maar niet strikt noodzakelijk. Lekkages kunnen eerder optreden bij het gebruik van tubes zonder cuff en larynxmasker ten opzichte van een gecuffte tube. Een tube zonder cuff wordt alleen op medische indicatie toegepast (zoals bij kleine kinderen). Veel piekblootstellingen kunnen worden voorkomen door een zorgvuldige werkwijze van de anesthesioloog, zoals het kiezen van een goed op het gelaat aansluitend masker, het tijdig dichtdraaien van de toevoer van inhalatieanesthetica en het voorkomen van disconnecties. De focus is verschoven van de centrale OK's naar ruimten waar ventilatie en luchtstromen niet altijd optimaal zijn, bijvoorbeeld inleidruimten en behandelkamers. In verkoeverkamers is de blootstelling aan inhalatieanesthetica voldoende beheerst, ondanks dat het ventilatievoud in de praktijk lager is dan aangegeven in de voormalig geldende arbeidsregel inhalatieanesthetica.

Normstelling / gezondheidsrisico's

In 2000 heeft de Gezondheidsraad lachgas³ geclassificeerd in categorie 3 in verband met risico op spontane abortus en het risico op aangeboren afwijkingen. De gezondheidsraad heeft isofluraan⁴ niet geclassificeerd. Sevofluraan is niet onderzocht.

In 2003 is door Burm⁵ literatuuronderzoek uitgevoerd naar mogelijke risico's voor de gezondheid bij blootstelling aan inhalatieanesthetica. Burm concludeert dat er bij blootstelling aan lage concentraties dampvormige anesthetica, zoals isofluraan, waarschijnlijk geen negatieve gezondheidseffecten zijn. Gekeken is naar carcinogeniteit, orgaan toxiciteit, reprotoxische effecten en psychofysiologische effecten. Naar de effecten

¹ AMC, Postbus 22660, 1100 DD Amsterdam; email: m.p.vanderbij@amc.uva.nl

² Erasmus MC

³ Gezondheidsraad: Commissie reprotoxische stoffen. Nitrous oxide. 2000

⁴ Gezondheidsraad: Commissie reprotoxische stoffen. Isoflurane. 2002

⁵ Burm AGL. Occupational hazards of inhalation anaesthetics. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology* 2003;17: 147-161.

van sevofluraan is minder onderzoek uitgevoerd, omdat dit dampvormige anestheticum recenter (vanaf 1996) op de markt is gebracht. Productinformatie van de fabrikant⁶ geeft een samenvatting van enkele dierstudies met sevofluraan. Hierin wordt geconcludeerd dat bij lage concentraties geen reprotoxische effecten, acuut toxische effecten en mutagene effecten zijn te verwachten. Alleen bij zeer hoge concentraties (183.553 mg/m³) komen reprotoxische effecten voor bij proefdieren (laag geboortegewicht, skeletafwijkingen). In twee recente studies is gekeken naar genotoxische activiteit van sevofluraan. In één studie⁷ werd géén genotoxische activiteit gevonden, in een andere studie⁸ werd een 30% verhoogde sister chromatid exchanges (SCE) gevonden bij blootstelling aan gemiddeld 2 mg/m³ sevofluraan. SCE verhoging wordt mogelijk geassocieerd met reprotoxiciteit. Er werd geen verhoging van micronuclei aangetroffen. Verhoging van micronuclei is een marker voor genotoxiciteit.

In een groot aantal landen is de mate van blootstelling aan inhalatieanesthetica bepaald. Byhahn et al⁹ heeft een aantal onderzoeken op een rij gezet. In twee onderzoeken is de mate van blootstelling aan sevofluraan in OK's bepaald. In beide studies is de blootstelling beoordeeld bij het gebruik van een tube zonder cuff en bij het gebruik van een tube met cuff. Bij het gebruik van een tube zonder cuff was de blootstelling aan sevofluraan in de twee studies gemiddeld 2,0 en 7,2 mg/m³. Bij het gebruik van een tube met cuff was de blootstelling aan sevofluraan gemiddeld 1,2 en 2,9 mg/m³. De laatste jaren is in een aantal studies^{10,11} ook biologische monitoring naar sevofluraan uitgevoerd, waarbij in de uitademingslucht de concentratie sevofluraan is bepaald¹². Hoewel blijkt dat blootstelling aan lage concentraties sevofluraan en isofluraan geen relevante gezondheidsrisico's bevat, is voorzichtigheid geboden.

Meer onderzoek is nodig, met name naar mogelijke effecten bij de nieuwere dampanesthetica zoals sevofluraan en desfluraan. Hantering van het ALARA principe is daarom binnen de UMC's het uitgangspunt, dit is beschreven in de arbocatalogus inhalatieanesthetica.

Voor isofluraan heeft de Gezondheidsraad¹³ in 1999 een grenswaarde voorgesteld van 153 mg/m³ (TGG 8 uur), deze is destijds door het ministerie van SZW overgenomen. De grenswaarde is vervallen in het nieuwe grenswaardestelsel. De Nederlandse Federatie van Universitair Medische Centra heeft daarom voor isofluraan een private grenswaarde van 153 mg/m³ opgesteld en deze opgenomen in de arbocatalogus inhalatieanesthetica. Omdat de molecuulstructuren van sevofluraan en isofluraan sterk op elkaar lijken en er weinig aanvullende toxicologische informatie is over sevofluraan, is besloten om ook voor deze stof een private grenswaarde van 153 mg/m³ te hanteren. De UMC's hanteren naast de private grenswaarde ook een streefwaarde, die 25% van de grenswaarde bedraagt. Blootstelling aan sevofluraan en isofluraan is voldoende beheerst indien deze lager is dan de streefwaarde van 38 mg/m³ (TGG 8 uur). Voor kortdurende blootstelling (TGG 15 min.) is de private grenswaarde en streefwaarde van sevofluraan en isofluraan vastgesteld op 306 mg/m³ respectievelijk 76 mg/m³. Voor lachgas is de private grenswaarde (TGG 8 uur) 152 mg/m³. Bij gecombineerde blootstelling aan lachgas met een dampvormig anestheticum (sevofluraan of isofluraan) geldt de additiereguleerregel ivm vergelijkbare werkingsmechanismen en gezondheidskundige effecten. De additiereguleerregel is gebruikt bij de beoordeling van de metingen in de verkoeverkamer. De additiereguleerregel luidt als volgt: de som van de afzonderlijke concentraties, gedeeld door de afzonderlijke grenswaarde, moet kleiner zijn dan 1.

fluraan en isofluraan sterk op elkaar lijken en er weinig aanvullende toxicologische informatie is over sevofluraan, is besloten om ook voor deze stof een private grenswaarde van 153 mg/m³ te hanteren. De UMC's hanteren naast de private grenswaarde ook een streefwaarde, die 25% van de grenswaarde bedraagt. Blootstelling aan sevofluraan en isofluraan is voldoende beheerst indien deze lager is dan de streefwaarde van 38 mg/m³ (TGG 8 uur). Voor kortdurende blootstelling (TGG 15 min.) is de private grenswaarde en streefwaarde van sevofluraan en isofluraan vastgesteld op 306 mg/m³ respectievelijk 76 mg/m³. Voor lachgas is de private grenswaarde (TGG 8 uur) 152 mg/m³. Bij gecombineerde blootstelling aan lachgas met een dampvormig anestheticum (sevofluraan of isofluraan) geldt de additiereguleerregel ivm vergelijkbare werkingsmechanismen en gezondheidskundige effecten. De additiereguleerregel is gebruikt bij de beoordeling van de metingen in de verkoeverkamer. De additiereguleerregel luidt als volgt: de som van de afzonderlijke concentraties, gedeeld door de afzonderlijke grenswaarde, moet kleiner zijn dan 1.

Materiaal en Methoden

Metingen zijn uitgevoerd met een gekalibreerde 1312 Photoacoustic Multi-gas Monitor van de firma Innova. Het instrument kan tegelijkertijd isofluraan, sevofluraan en lachgas meten. Daarnaast worden ethanol, kooldioxide en waterdamp simultaan bepaald, zodat correctie voor de overlappende infraroodspectra mogelijk is¹⁴. Het instrument neemt elke minuut een luchtmonster en analyseert dit direct daarna. Detectielimieten zijn 0,09 mg/m³ (sevofluraan), 0,06 mg/m³ (isofluraan en lachgas). In één UMC is in de verkoeverkamer gemeten met een gekalibreerde Miran 1B.

Op de OK's werd tijdens de metingen vooral sevofluraan gebruikt (159 operaties), in mindere mate werden lachgas (39 operaties) en isofluraan (8 operaties) gebruikt. Daarom is uitsluitend statistische analyse uitgevoerd op de meetgegevens van sevofluraan. Alle metingen zijn persoonsgebonden, taakgerichte metingen, uitgevoerd bij een anesthesioloog of anesthesiemedewerker. Een meetkop is via een flexibele slang verbonden aan het meetapparaat. De meetkop is bevestigd in de ademzone van de anesthesioloog of anesthesiemedewerker. De arbeidshygiënist bediende het meetapparaat en liep mee met de bemonsterde medewerker. Op de operatiekamer is in principe gemeten gedurende een gehele operatie. Er is genoteerd welke anesthesietechniek is toegepast tijdens de inleiding en tijdens de operatie (peroperatief). Voor elke operatie is de

⁶ Abbott Laboratories, Lmt. Product Monograph Sevoflurane AF. Submission Control No: 104531. Date of Revision: March 13, 2007.

⁷ Szyfter K, et al. Genotoxicity of inhalation anaesthetics: DNA lesions generated by sevoflurane in vitro and in vivo. *J.Appl. Genet.* 2004; 45:369-374.

⁸ Wiesner G et al. Increased formation of sister chromatid exchanges, but not of micronuclei, in anaesthetists exposed to low levels of sevoflurane. *Anaesthesia*. 2008; 63: 861-864.

⁹ Byhahn C, et al. Occupational exposure to volatile anaesthetics. *CNS Drugs* 2001; 15:197-215

¹⁰ Raj N, et al. Evaluation of personal, environmental and biological exposure of paediatric anaesthetists to nitrous oxide and sevoflurane. *Anaesthesia* 2003; 58:630-636.

¹¹ Gentili A et al. Exposure of personnel to sevoflurane during paediatric anaesthesia: influence of professional role and anaesthetic procedure. *European Journal of Anaesthesiology* 2004; 21:638-645.

¹² Summer G, et al. Sevoflurane in exhaled air of operating room personnel. *Anesth Analg* 2003; 97:1070-1073

¹³ Gezondheidsraad. *Isoflurane*. 1999.

¹⁴ Innova. *Product Data & Technical Documentation 1312 Photoacoustic Multi-gas Monitor*.

gemiddelde blootstelling tijdens de operatie genoteerd, de gemiddelde blootstelling is gebruikt als input voor de statistische verwerking. Daarnaast is genoteerd of er sprake was van een piekblootstelling. Een piek is gedefinieerd als een gemiddelde blootstelling (TGG 15 minuten) groter dan 76 mg/m³ (streefwaarde TGG 15 minuten) respectievelijk 303 mg/m³ (grenswaarde TGG 15 minuten). Meetresultaten zijn vervolgens gegroepeerd aan de hand van de toegepaste anesthesietechniek tijdens de inleiding en peroperatieve fase. Daarnaast is een aantal metingen in behandelkamers en inleidekamers gegroepeerd aan de hand van de gebruikte anesthesietechniek en zijn resultaten van metingen in verkoperkamers beschreven. De meetduur varieerde sterk per operatie (tussen 10 minuten en 4 uur). De meetduur is in de resultaten niet verder uitgewerkt. In de praktijk zijn er gedurende het dagprogramma op een operatiekamer verschillende patiënten waarbij diverse anesthesietechnieken en verschillende anesthetica worden toegepast. Naast inhalatieanesthetica, dienen anesthesiologen ook veelvuldig intraveneuze anesthetica toe. Toch zijn de taakgerichte blootstellinggegevens van elke anesthesietechniek vergeleken met de grenswaarde TGG 8 uur, waarbij van het fictieve geval is uitgegaan dat deze techniek gedurende het gehele OK programma (8 uur lang) werd gebruikt. Medewerkers moeten de anesthesietechnieken immers de gehele dag kunnen gebruiken zonder dat er risico's zijn voor de gezondheid van de medewerker. Deze wijze van beoordelen geeft wel een overschatting van de blootstelling, immers bij het toedienen van intraveneuze anesthetica vindt geen beroepsmatige blootstelling aan inhalatieanesthetica plaats.

Uitleg anesthesietechnieken

Inleiding

Een patiënt wordt onder narcose gebracht (ingeleid) met behulp van een anestheticum. Dit kan een anestheticum zijn dat direct via een infuus in de bloedbaan wordt ingebracht (intraveneus). Bij deze toepassing vindt geen beroepsmatige blootstelling aan inhalatieanesthetica plaats. Volwassenen worden vrijwel altijd intraveneus ingeleid. Een deel van de kinderen wordt ingeleid met behulp van inhalatieanesthetica, zoals sevofluraan, isofluraan of lachgas. Er kan een medische reden zijn voor kapinleiding maar vaak heeft het een praktische reden omdat het kind angstig is of het infuus lastig is te prikken. De mate waarin op de kap wordt ingeleid verschilt sterk per UMC en per anesthesioloog.

Bij inleiding via de kap kan gebruik gemaakt worden van een enkelmasker of dubbelmasker (figuur 1) dat op het gelaat geplaatst wordt. Op een dubbelmasker is randafzuiging aangebracht, zodat emissies direct bij de bron worden afgezogen. Tijdens de inleiding doseert de anesthesioloog over het algemeen circa 5-8 vol% sevofluraan, bij lachgas ligt deze dosering vele malen hoger, namelijk 80 vol%.



Figuur 1: Enkelmasker (links) en dubbelmasker (rechts).

Peroperatief

Nadat de patiënt onder narcose is gebracht kan de capaciteitsanesthetie in de peroperatieve fase worden voortgezet, hiervoor wordt soms gekozen bij kortdurende operaties. In de meeste gevallen wordt tijdens de peroperatieve fase voor een andere techniek gekozen. Bij een intubatie krijgt een patiënt een buis (endotracheale tube) in de luchtpijp. Bij grote kinderen (vanaf circa 6 jaar) en volwassenen wordt een tube met een cuff gebruikt. Dit is een ballon die rondom de tube zit. Na het opblazen is de gehele luchtpijp afgesloten en ontstaat een (vrijwel) gesloten systeem waardoor beroepsmatige blootstelling aan inhalatieanesthetica te verwaarlozen is. In de meeste UMC's wordt bij kleine kinderen om medische redenen geen cuff gebruikt, zodat lekkage kan optreden. Daarnaast is het mogelijk een larynxmasker te gebruiken, dit masker wordt geplaatst boven op de larynxingang. Lekkage is mogelijk indien het masker niet goed over de larynx sluit. Daarnaast hangt de mate van lekkage af van beademingsstoestand van de patiënt. Een deel van de patiënten ademt spontaan (en zal zelf door onderdruk het gas in de longen zuigen) een ander deel van de patiënten wordt beademd met positieve druk, de kans op lekkage is hierbij groter. Peroperatief wordt circa 0,5-3,0 vol% sevofluraan toegediend, bij lachgas ligt deze dosering vele malen hoger, namelijk circa 50-66 vol%. De in het artikel genoemde anesthesietechnieken staan uitgebreid beschreven in T. Porcelijn en H.C. Schuyt¹⁵.

Resultaten

Operatiekamers

Het ventilatievoud is in alle gemeten OK's volgens ontwerp circa 20. In tabel 1 staan de resultaten van de metingen naar sevofluraan in de operatiekamers van de zeven UMC's. Uit de tabel blijkt dat bij een intraveneuze inleiding of bij inleiding met behulp van het dubbelmaskersysteem, peroperatief gevolgd door tube (met of zonder cuff), een larynxmasker of een dubbelmasker de blootstelling aan sevofluraan ruim beneden de streefwaarde (TGG 8 uur) ofwel 38 mg/m³ blijft. Bij genoemde technieken is de private grenswaarde voor kortdurende blootstelling (306 mg/m³) niet overschreden. De streefwaarde (TGG 15 min) van 76 mg/m³ is tijdens 66 meetpro-

¹⁵ T.Porcelijn, H.C. Schuyt. *Inhalatieanesthetica, narcose en anesthesiologie*. Kluwer. 2005.

Tabel 1: Resultaten van de metingen naar sevofluraan (mg/m³) in operatiekamers, inleidkamers en behandelkamers

Locatie	Inleiding	Peroperatief	N	GM	GSD	Max	95th perc	Piek>76	Piek>306
OK	Intraveneus	Tube zonder cuff	4	1,0	2,8	4,7	5,9	0	0
	Intraveneus	Tube met cuff	4	1,8	10,6	22	90	0	0
	Dubbmasker	Tube met cuff	3	2,5	1,7	3,8	6,2	0	0
	Dubbmasker	Larynxmasker	10	3,0	1,7	5,4	7,5	0	0
	Intraveneus	Dubbmasker	8	3,3	3,9	23,2	30	0	0
	Dubbmasker	Dubbmasker	18	6,1	4,0	62	61	0	0
	Dubbmasker	Tube zonder cuff	19	7,4	3,3	140	52	1	0
	Enkelvoudig masker	Tube zonder cuff	24	9,0	4,1	125	90	1	0
	Enkelvoudig masker	Enkelvoudig masker	7	6,7	5,9	29	126	0	0
	Enkelvoudig masker	Tube met cuff	15	10,0	4,7	58	127	5 1)	0
	Enkelvoudig masker	Tube met keeltampon	3	19,1	2,1	30	66	0	0
Inleidruimte	Enkelvoudig masker	Larynxmasker	11	17,0	2,4	62	73	3	0
	Enkelvoudig masker	Niet gemeten 2)	10	149	2,2	520	568	7	2
Behandelkamers	Enkelvoudig masker	Niet gemeten 2)	7	55,7	2,3	280	213	1	0
	Enkelvoudig masker	Tube met cuff	4	46,7	5,1	495	679	0	1
	Enkelvoudig masker	Larynxmasker	6	21,7	1,7	37	50	1	0

1) waarvan 3 gedurende 1 operatie

2) kortdurende metingen (getoetst aan TGG 15min)

N=aantal, GM-Geometrisch Gemiddelde, GSD-Geometrische Standaard Deviatie, Max=maximum concentratie, 95th perc =95% betrouwbaarheidsbovengrens, Piek>76=aantal pieken (TGG 15 min) binnen operaties waarbij concentratie boven 76 resp 306 mg/m³ lag

gramma's slechts eenmaal overschreden. Dit werd veroorzaakt door een eenmalige zeer hoge piek tijdens de inleiding met een dubbmasker, waarvoor geen verklaring is gevonden. Vier operaties zijn uitgevoerd waarbij intraveneus is ingeleid en peroperatief een gecuffte tube is toegepast. Daarnaast zijn er vier operaties uitgevoerd waarbij intraveneus is ingeleid en peroperatief een ongecuffte tube is toegepast. De gemiddelde blootstelling aan sevofluraan is hoger bij het gebruik van een gecuffte tube in vergelijking met het gebruik van een ongecuffte tube (1,8 resp. 1,0 mg/m³). De metingen waarbij een gecuffte tube is gebruikt zijn verder geanalyseerd. Bij twee operaties (in één UMC) is toch kortstondig gebruik gemaakt van een enkelvoudige kap met sevofluraan. In dat ziekenhuis wordt een kap met sevofluraan niet standaard toegepast, maar soms gebruikt voor een soepele overgang van de ene naar de andere applicatievorm. In een ander UMC wordt de kap met sevofluraan vrijwel niet toegepast. Bij de overige twee metingen waarbij intraveneus is ingeleid en peroperatief een tube met cuff is toegepast was de blootstelling aan sevofluraan 0 mg/m³.

Uit de tabel blijkt dat de blootstelling aan sevofluraan hoger is bij het gebruik van een enkelvoudig masker in vergelijking tot het gebruik van een dubbmasker tijdens de inleiding, peroperatief gevolgd door een enkelvoudig masker, tube (met of zonder cuff) of larynxmasker. Ook bij deze metingen is blootstelling aan sevofluraan onder de streefwaarde (TGG 8 uur). Wel wordt tijdens 7 van de 60 verschillende operaties de streefwaarde TGG 15 minuten in totaal 9 keer overschreden. De piekblootstelling blijft in alle gevallen onder 50% van de grenswaarde (TGG 15 min). Tijdens één operatie is de piekblootstelling (TGG 15 minuten) drie keer overschreden. De piekbelasting werd gemeten tijdens (1) het positioneren van de patiënt, (2) het hechten van de patiënt waarbij druk werd uitgeoefend op het middenrif, (3) anesthesioloog begaf zich dicht bij het hoofd van de patiënt, tijdens hechting van de

patiënt. Uit de lekmetingen bleek dat de gecuffte tube lekte.

Werkwijze anesthesioloog

In tabel 2 staan de resultaten van de metingen uitgevoerd bij dezelfde anesthesioloog die bij verschillende werkwijzen is gevolgd. Doordat het aantal metingen beperkt is, is gekozen voor het rekenkundig gemiddelde in plaats van het GM. Inleiding vond plaats met een enkelvoudig masker. Peroperatief werd een enkelvoudig masker of tube zonder cuff gebruikt. Bij verschillende kinderen zijn buisjes geplaatst of is gesluderd. De meetduur varieerde tussen 17 en 42 minuten. Gedurende de eerste meet sessie hanteerde de anesthesioloog naar eigen zeggen een werkwijze waarbij blootstelling aan sevofluraan minder goed was beheerst. Het kapje sloot niet altijd aan op het gezicht van de patiënt en de toevoer van inhalatieanesthetica werd niet altijd op tijd dichtgedraaid. Later zijn metingen uitgevoerd bij dezelfde anesthesioloog. Er is toen met nadruk gelet op goede aansluiting van het enkelvoudig masker op het gezicht van de patiënt en het zorgvuldig en tijdig afsluiten van kranen. Bij het gebruik van een enkelvoudig masker (inleiding en peroperatief) en enkelmasker gevolgd door tube is blootstelling aan sevofluraan onder de streefwaarde bij gebruik van een zorgvuldige techniek. Bij een minder beheerste manier van werken lag blootstelling aan sevofluraan boven de streefwaarde en grenswaarde bij gebruik van enkelvoudig masker en tube resp. enkelvoudig masker (inleiding en peroperatief).

Inleidruimte

Het komt voor dat patiënten (met name kinderen) in een aparte inleidkamer worden ingeleid voordat ze de OK opgaan. Het ventilatievoud is in deze aparte inleidruimte veel lager dan op een OK. Jongere kinderen zitten tijdens de inleiding bij de ouder op schoot, de oudere kinderen worden op de behandelafel ingeleid. In deze ruimte is het GM veel hoger

Tabel 2: Blootstelling aan sevofluraan (mg/m^3) bij verschillende werkwijzen met een enkelvoudig masker, gemeten gedurende de hele ingreep.

Applicatievorm	Werkwijze	N	AM	Min-max
Zowel inleiding als peroperatief met enkelvoudig masker	Masker sluit niet altijd aan	3	339	251-439
	Masker sluit goed aan	2	2	1-3
Inleiding met enkelvoudig masker, peroperatief tube	Masker sluit niet altijd aan	3	42	5-67
	Masker sluit goed aan	6	5	0-21

AM=rekenkundig gemiddeld, n=aantal, min-max=minimum-maximum concentratie

dan de streefwaarde van $76 \text{ mg}/\text{m}^3$ (TGG 15 min). In totaal is bij 10 inleidingen gemeten. De streefwaarde (TGG 15 min.) is 7 maal overschreden, de grenswaarde (TGG 15 min.) 2 maal. Er is een enkelmasker gebruikt. Het ventilatievoud is in deze aparte inleidruimte veel lager dan op een OK. Uit de metingen bleek ook dat de blootstelling aan sevofluraan hoger was bij het inleiden van een kind dat bij de ouder op schoot zat, dan tijdens het inleiden van een kind op de behandelafel.

Behandelkamers

Specifieke operaties, zoals hartkatheterisatie en KNO ingrepen kunnen ook worden uitgevoerd in behandelkamers. Daarnaast worden sommige patiënten (o.a. kleine kinderen, claustrofobische patiënten, geestelijk gehandicapte patiënten) voordat ze een MRI- of CT scan ondergaan met behulp van inhalatieanesthetica onder narcose gebracht. Behandelkamers buiten de OK kunnen een afwijkend ventilatieprincipe hebben in vergelijking met een operatiekamer. Het ventilatievoud kan lager zijn en een plenum is niet altijd aanwezig. In deze behandelkamers zijn 10 metingen uitgevoerd tijdens het gebruik van een enkelvoudig masker, gevolgd door larynxmasker of tube met cuff. Bij het gebruik van een larynxmasker lag het geometrisch gemiddelde (GM) onder de streefwaarde, bij het gebruik van een tube met cuff lag het GM boven de streefwaarde (TGG 8 uur). Dit wordt veroorzaakt door 1 hoge meting. Tijdens een operatie werd de cuff laat opgeblazen, de blootstelling aan sevofluraan nam sterk af na het opblazen van de cuff.

In een MRI voorbereidingsruimte en bij een behandelkamer waar hartkatheterisaties worden uitgevoerd, is gemeten tijdens de inleidfase met een enkelvoudig masker. Het GM ligt onder de streefwaarde (TGG 15 minuten), wel is tijdens één ingreep de streefwaarde (TGG 15 min) overschreden.

Verkoeverkamers

In zes UMC's zijn ook persoonsgebonden metingen uitgevoerd bij verkoeververpleegkundigen in verkoeverkamers. In tabel 3 staan resultaten van de persoonlijke blootstelling aan sevofluraan en isofluraan bij verkoeververpleegkundigen, gemeten met de 1312 Photoacoustic Multi-gas Monitor. Uit deze metingen blijkt dat blootstelling ruim onder de streefwaarde ligt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat gemeten is tijdens werkzaamheden van de verkoeververpleegkundige rond

het bed van de patiënt. De verkoeververpleegkundige zal een groot deel van de tijd ook verder verwijderd zijn van de patiënt (de bron), waardoor blootstelling gemiddeld over een dag nog lager zal zijn. Stationaire metingen, uitgevoerd op 2 tot 10 meter van patiënten geven een blootstelling aan van $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ sevofluraan (range $0\text{-}3 \text{ mg}/\text{m}^3$), $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ lachgas ($0\text{-}3 \text{ mg}/\text{m}^3$) en $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ isofluraan ($0\text{-}2 \text{ mg}/\text{m}^3$). Ook wanneer de additieregel wordt toegepast ligt blootstelling aan inhalatieanesthetica ruim onder de streefwaarde. Het vereiste ventilatievoud van 10, genoemd in de beleidsregel inhalatieanesthetica, werd in de gemeten ziekenhuizen niet gehaald.

In één UMC is met behulp van een gekalibreerde Miran gemeten in de ademzone van een negental patiënten, een deel van de patiënten was nog onder narcose een ander deel was wakker. De gemeten concentratie sevofluraan was gemiddeld $25 \text{ mg}/\text{m}^3$, de laagste en hoogste gemeten concentraties waren 16 resp. $38 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Tabel 3: Blootstelling aan sevofluraan en isofluraan in verkoeverkamers in mg/m^3

anestheticum	N	GM	GSD	MAX	95th perc.
Sevofluraan	6	2,1	2,1	4,6	6,9
Isofluraan	8	3,7	2,3	19,7	14,5

N=aantal, GM-Geometrisch Gemiddelde, GSD-Geometrische Standaard Deviatie, Max=maximum concentratie, 95th perc =95% betrouwbaarheidsbovengrens

Discussie

Gelet op de beperkte set met metingen naar blootstelling aan lachgas, kan geen uitspraak worden gedaan over de gecombineerde blootstelling aan lachgas en sevofluraan.

In operatiekamers in de UMC's is blootstelling aan sevofluraan voldoende beheerst bij het gebruik van een dubbelmasker, tube (met of zonder cuff) en larynxmasker. Blootstelling ligt ruim onder de streefwaarde. Onze meetresultaten tonen aan dat de blootstelling aan sevofluraan bij het gebruik van een tube met cuff vergelijkbaar is met de resultaten uit de eerder genoemde studie van Byhahn. Uit de resultaten van twee

onderzoeken van Byhahn blijkt dat het gebruik van een ongecuffte tube een hogere blootstelling aan sevofluraan veroorzaakt dan bij het gebruik van een gecuffte tube. Dit is aannemelijk gezien het feit dat randlekkage mogelijk is bij het gebruik van een ongecuffte tube. Uit onze meetresultaten blijkt dat de blootstelling aan sevofluraan bij het gebruik van een ongecuffte tube lager is dan bij het gebruik van een gecuffte tube. Dit is veroorzaakt door het kortstondig gebruik van een masker met sevofluraan in de fase tussen inleiden en het inbrengen van de tube. Wanneer deze kap niet wordt toegepast is de blootstelling zeer laag. De mate waarin de kap wordt gebruikt voor een soepele overgang tussen twee applicatievormen verschilt per UMC.

Bij het gebruik van een larynxmasker (vooral bij actieve beademing) zijn lekkages mogelijk, hoewel dat niet uit de resultaten blijkt. Moderne anesthesieapparatuur signaleert mogelijk lekkages, waarna de anesthesioloog actie kan ondernemen. Er kan bijvoorbeeld gekozen worden voor een beter passend larynxmasker of een gecuffte tube.

Op basis van de huidige literatuur zijn schadelijke gezondheidseffecten niet te verwachten bij gebruik van deze anesthesietechnieken. Omdat isofluraan en sevofluraan in dezelfde doseringen worden toegepast en vergelijkbare fysische eigenschappen hebben, ligt blootstelling aan isofluraan zeer waarschijnlijk ook ver onder de streefwaarde. Schadelijke gezondheidseffecten door blootstelling aan isofluraan bij gebruik dubbelmasker, tube en larynxmasker zijn niet te verwachten.

Wanneer een enkelvoudig masker wordt gebruikt is de variatie in blootstelling aan sevofluraan groter. De streefwaarde (TGG 15 min.) is bij 7 van de 60 ingrepen overschreden. De grenswaarde van sevofluraan (TTG 15min) is echter in geen van de 60 ingrepen overschreden. Overschrijdingen liggen tussen 25 en 50% van de grenswaarde. Schadelijke gezondheidseffecten door blootstelling aan sevofluraan zijn daarom niet te verwachten. In AI-blad 31 'Gezondheidsrisico's van gevaarlijke stoffen' zijn toetsingscriteria aangegeven. Blootstelling aan sevofluraan is voldoende beheerst indien blootstelling tussen 25% en 50% van de grenswaarde ligt. Maatregelen zijn niet strikt noodzakelijk, periodieke monitoring (eens per 1,5 jaar) wel. In de beleidsregel 4.9-5 'Doeltreffende beheersing van de blootstelling aan inhalatieanesthetica in ziekenhuizen' staat vermeld dat bij het toedienen van inhalatieanesthetica via een niet-gesloten systeem gebruik gemaakt moet worden bronafzuiging, zoals een dubbelmaskersysteem. Uit de resultaten blijkt dat bij het gebruik van sevofluraan op een OK met voldoende ruimteventilatie bronafzuiging niet noodzakelijk is, maar uiteraard wel wenselijk volgens het ALARA principe. UMC's hanteren het ALARA principe. Wanneer tijdens een OK programma regelmatig dampvormige anesthetica met behulp van een masker wordt toegediend, is het gebruik van een dubbelmaskersysteem zeer sterk aan te bevelen. Voorbeelden hiervan zijn korte KNO kinderprogramma's (sluieren en buisjes plaatsen) en funduscopiën (spiegelen) bij oogheelkunde. Wanneer op de OK zeer incidenteel een patiënt wordt ingeleid met een dampvormig anestheticum met behulp van een enkelvoudig masker, dan is het gebruik van een dubbelmasker volgens het ALARA principe wel aan te

bevelen, maar niet strikt noodzakelijk. In beide gevallen is het van belang om anesthesiologen inzicht te geven dat een zorgvuldige werkwijze de beroepsmatige blootstelling aan inhalatieanesthetica kan verlagen. Bij het gebruik van lachgas tijdens de inleiding is het aannemelijk dat TGG 15 minuten sneller overschreden wordt, omdat de toegediende concentratie lachgas vele malen hoger is dan de toegediende concentratie sevofluraan. Het gebruik van het dubbelmasker is dan noodzakelijk.

Er is een beperkt aantal metingen uitgevoerd in behandelkamers. Het GM is hoger dan in operatiekamers en ligt bij enkele toepassingen tussen 25% en 50% van grenswaarde van sevofluraan. Op basis van huidige gegevens kan geconcludeerd worden dat schadelijke gezondheidseffecten niet aannemelijk zijn. Wel is het van belang om de blootstelling aan inhalatieanesthetica in deze ruimtes te monitoren en op basis daarvan na te gaan of aanvullende maatregelen getroffen moeten worden conform het ALARA principe. In de aparte inleidekamers wordt de TGG 15minuten (sevofluraan) bij 2 van de 10 metingen overschreden. Directe, reversibele effecten zijn niet uit te sluiten. In deze situaties met verlaagd ventilatievoud is het noodzakelijk om het dubbelmasker te hanteren.

Tot slot geven de metingen uitgevoerd in verkooverkamers aan dat blootstelling aan inhalatieanesthetica voldoende is beheerst en dat een ventilatievoud van 10 niet noodzakelijk is.

Aanbevelingen ten aanzien van de mogelijke beheersmaatregelen

UMC's hebben, conform de arbeidshygiënische strategie, verschillende maatregelen genomen om blootstelling aan inhalatieanesthetica te beheersen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste maatregelen genoemd om blootstelling aan inhalatieanesthetica te beperken. Hierbij is gebruik gemaakt van de beschreven resultaten. Daarnaast is gebruik gemaakt van informatie van anesthesiologen en geconstateerde accentverschillen tussen UMC's.

Bronaanpak

In een aantal UMC's is een actief beleid om niet alleen volwassenen, maar ook kinderen indien mogelijk intraveneus in te leiden, ook bij kortdurende operaties zoals sluderoperaties. Alleen wanneer dat medisch niet wenselijk of niet praktisch is (angstig kind, lastig te prikken) wordt overgegaan op een kapinleiding. Door deze bronmaatregel is de blootstelling aan inhalatieanesthetica de afgelopen jaren sterk afgenomen. In vier UMC's wordt nauwelijks meer lachgas gebruikt. Het leidingnet is afgesloten, wel is een cilinder of gasfles beschikbaar voor specifieke ingrepen. In de praktijk worden deze gasflessen weinig aangesproken. Naast het gezondheidkundig voordeel is er ook een economisch en milieu voordeel. Onderhoud en beheer van het lachgasleidingnet verdwijnt. Bij nieuwbouw hoeft niet meer geïnvesteerd te worden in een leidingnet. Een lachgasleidingnet moet permanent op druk worden gehouden. In de praktijk kunnen kleine lekkages in het systeem ervoor zorgen dat er permanent een kleine hoeveel-

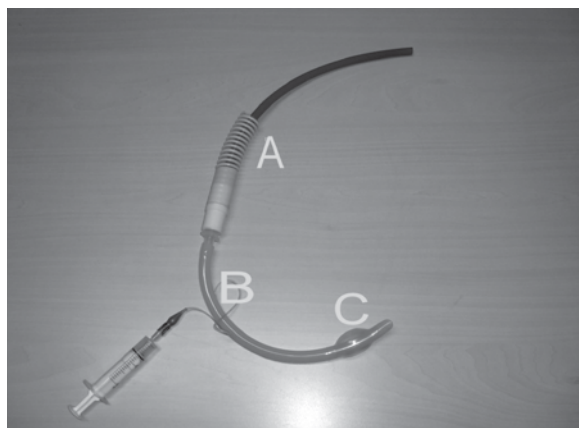
heid lachgas toegevoegd moet worden om de druk te handhaven. Deze kosten kunnen op jaarbasis behoorlijk oplopen. Ten slotte is lachgas een broeikasgas, waarmee bij het verwijderen van het systeem ook het milieu minder wordt belast.

Technische maatregelen

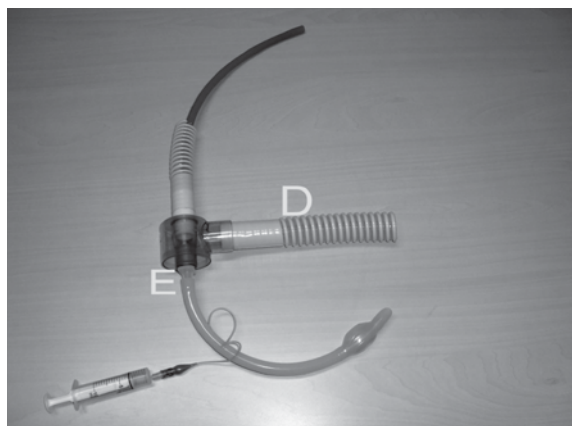
In een aantal UMC's wordt bij het kinderprogramma (sluieren en buisjes) gebruik gemaakt van het dubbelmaskersysteem. Het dubbelmaskersysteem compenseert voor afwijkende omstandigheden waardoor piekblootstelling minder vaak ontstaat. Afwijkende omstandigheden zijn onder meer: geen passend masker, masker sluit niet goed aan omdat kind tegenstribbelt, ingrepen zijn kort zodat toevoer inhalatieanestheticum niet tijdig wordt afgesloten.

De aanvoer- en afzuigslang van het dubbelmaskersysteem kan ook toegepast worden bij een tube (met of zonder cuff) en bij een larynxmasker. In figuur 2 is de toevoer beademing (A) aangesloten op een tube (B) met opgeblazen cuff (C). In figuur 3 is het afzuigstelsel (D) dat gebruikt wordt in combinatie met een dubbelmasker aangesloten op de tube met cuff. Deze afzuiging kan ook geplaatst worden op een larynxmasker en een tube zonder cuff. De bronafzuiging (E) zit ter hoogte van de mond van de patiënt. Op deze wijze worden zowel de eventuele lekkage uit de conische koppeling (tussen A en B) als de lekkage uit de luchtwegen van de patiënt (langs tube, larynxmasker) efficiënt afgezogen. Ook bij intuberen (als bij inleiding gebruik is gemaakt van inhalatieanesthetica) en uitleiden kan de afzuiging dicht bij de mond geplaatst worden om blootstelling te voorkomen. Hierdoor kan een verdere reductie in blootstelling plaatsvinden. Dit systeem is verder beschreven in T. Porcelijn en H.C. Schuyt¹⁶.

In één UMC is er bij de nog te realiseren nieuwbouw voor gekozen om deze bronafzuiging in te zetten. Hierdoor is het niet meer nodig om het (in de arboeidsregel) vereiste ventilatievoud van 20 te hanteren. Bronafzuiging is immers veel effectiever dan ruimteafzuiging. Uiteraard wordt er ook een voorziening geplaatst om diathermische rook af te voeren en wordt de luchtbehandeling dusdanig ontworpen dat de steriliteit van het operatiegebied gewaarborgd blijft.



Figuur 2: Toevoer beademing aangesloten op tube met cuff



Figuur 3: Toevoer beademing aangesloten op tube met cuff én op afzuiging dubbelmaskersysteem

Organisatorisch / werkwijze anesthesioloog

Uit de grote hoeveelheid metingen zijn onderstaande kritische momenten te destilleren, waarbij de werkwijze van de anesthesioloog de hoogte van de blootstelling beïnvloedt:

- Keuze voor anesthesietechniek & soort anestheticum (intraveneuze anestheticum, lachgas of dampvormig anestheticum).
- Piekblootstelling kan voorkomen worden door een goede discipline en timing bij de vermindering en het tijdig dichtdraaien van de toevoer van het inhalatieanestheticum in relatie tot verdere activiteiten (intuberen, uitleiden etc.).
- Het gebruik van een op het gelaat goed aansluitend masker én het gebruik van goed passende larynxmaskers en tubes.
- Voorkomen van disconnecties (losschietende slangen op gasevacuatiesysteem, niet goed in elkaar gezette kapjes etc.) door alertheid op loszittende verbindingstukken en het tijdig vervangen van onderdelen.
- Voorkom, daar waar mogelijk, het gebruik van een kap met dampanesthetica bij de overgang tussen intraveneuze inleiding en de peroperatieve fase (tube of larynxmasker) met dampanesthetica.
- Onder het plenum werken, zodat luchtstroming met name neerwaartse richting heeft.
- Leid kinderen bij voorkeur op de tafel in, in plaats van bij de ouder op schoot.

Voorkeur voor bepaalde anesthesietechnieken verschillen sterk per UMC. De verschillende maatregelen die in UMC's genomen worden, kunnen startpunt zijn voor dialoog tussen anesthesiologen in werkoverleg met als doel te bepalen of blootstelling door een verandering in werkwijze verder beperkt kan worden.

¹⁶ T.Porcelijn, H.C. Schuyt. *Inhalatieanesthetica, narcose en anesthesiologie*. Kluwer. 2005.

Monitoring

Bij het gebruik van een dubbelmasker, tube of larynxmasker in een OK met voldoende ruimteventilatie is periodieke monitoring naar sevofluraan niet nodig. Blootstelling is doeltreffend beheerst. Isofluraan wordt in vergelijkbare dosering toegepast als sevofluraan, ook de fysische eigenschappen zijn vergelijkbaar. Isofluraan wordt in de meeste UMC's veel minder toegepast dan sevofluraan. Specifieke monitoring op isofluraan bij gebruik van een dubbelmasker, tube of larynxmasker in een OK met goed werkend ventilatiesysteem niet nodig.

Lachgas wordt in hogere dosering toegepast. Indien lachgas (alleen of in combinatie met een dampvormig anestheticum) wordt toegediend bij gebruik van een dubbelmasker, tube of larynxmasker is periodieke monitoring wel noodzakelijk, tenzij uit metingen van het betreffende ziekenhuis blijkt dat blootstelling lager is dan de streefwaarde.

Omdat bij gebruik van een enkelmasker pieken tussen 25-50% van de grenswaarde (TGG 15 minuten) zijn geconstateerd, is periodieke monitoring noodzakelijk. De periodiciteit hangt wel sterk af van de frequentie van het gebruik van enkelmaskers. In UMC's waar enkelmasker bij uitzondering worden gebruikt, is monitoring veel minder relevant dan in een UMC waar enkelmasker vaker wordt ingezet.

De focus van de metingen verschuift naar behandelkamers, waar blootstelling aan inhalatieanesthetica goed in kaart gebracht moet worden.

Conclusie

Uit de analyse van alle meetresultaten én op basis van de ervaringen in verschillende UMC's trekken we de volgende conclusies:

1. Bronaanpak (intraveneuze toediening, ruggenprik of geen lachgas gebruiken) is de meest effectieve manier om blootstelling aan inhalatieanesthetica te voorkomen.
2. Bij regelmatig gebruik van kapanesthesie in combinatie met dampanesthetica in een goed geventileerde OK is een dubbelmasker sterk aan te bevelen. Bij incidenteel gebruik is dit volgens het ALARA principe wel aan te bevelen, maar niet strikt noodzakelijk.
3. Bij het gebruik van kapanesthesie in combinatie met dampanesthetica in een ruimte met een verminderde ventilatie (bijvoorbeeld aparte inleidkamer of behandelkamer) is het gebruik van een dubbelmasker noodzakelijk, tenzij metingen hebben aangetoond dat de blootstelling voldoende is beheerst.
4. Lekkages kunnen eerder optreden bij het gebruik van tubes zonder cuff en larynxmasker ten opzichte van een gecuffte tube. Een tube zonder cuff wordt alleen op medische indicatie toegepast (zoals bij kleine kinderen).

Lekkages bij (ongecuffte) tubes en larynxmaskers kunnen worden voorkomen door het bronafzuigsysteem van het dubbelmasker ook bij deze applicatie toe te passen. Deze toepassing is niet noodzakelijk, maar wel aan te bevelen volgens het ALARA principe.

5. Veel piekblootstellingen kunnen voorkomen worden door een zorgvuldige werkwijze van de anesthesioloog, zoals het gebruik van een goed op het gelaat aansluitend masker, het tijdig dichtdraaien van de toevoer van inhalatieanesthetica en het voorkomen van disconnecties. UMC's spelen zelf een bijzondere rol in het voorkomen van piekblootstellingen door tijdens de opleiding van anesthesiepersoneel aandacht te besteden aan de factoren, die van invloed zijn op het ontstaan van pieken. Het is van belang kennis en vaardigheden over veilige anesthesietechnieken en het zorgvuldig toepassen hiervan in de opleiding te benadrukken.
6. In verkoevertkamers is de blootstelling aan inhalatieanesthetica voldoende beheerst, ondanks dat het ventilatievoud in de praktijk lager is dan aangegeven in de arbobeidsregel inhalatieanesthetica.
7. De focus als het gaat om blootstelling aan inhalatieanesthetica is binnen de UMC's verschoven van de centrale OK's naar ruimten waar ventilatie en luchtstromen niet altijd optimaal zijn, bijvoorbeeld aparte inleidruimten en behandelkamers.
8. De effectiviteit van het toepassen van het bronafzuigsysteem bij ongecuffte tubes en larynxmaskers zal in de praktijk onderzocht moeten worden.

Dankwoord

Dank gaat uit naar de collega arbeidshygiënist: M. Beelen (LUMC), J.R.C. Boumans – d'Onofrio, C.C.P. Klaver, G.C. Teunissen (UMC St Radboud), F. Steenstra (UMCG), E.J. de Vries, E. Hagelen (UMC Utrecht), T. Wijsman (VUmc) en K.D. Witters (Erasmus MC) die hun gegevens voor dit onderzoek hebben gebundeld en geduldig alle vragen hebben beantwoord. We bedanken Professor W.S. Schlack (AMC) voor het meelesen en becommentariëren. Tevens bedanken we alle anesthesiologen en anesthesiemedewerkers die hebben meegewerkt aan alle onderzoeken naar blootstelling aan inhalatieanesthetica de afgelopen periode en hebben meegewerkt aan de maatregelen om blootstelling aan inhalatieanesthetica verder te reduceren.