



Volume 11 Number 1
Spring/Summer 2001

TraumaCare

The Official Publication of ITACCS

International Trauma Anesthesia and Critical Care Society



Photograph by James Blank

San Diego Bay and city skyline from Point Loma.

➤ Special Symposium Issue –
TraumaCare 2001

Program, page 7

Abstracts, page 12

Research Awards, page 13

➤ The Glostavent

(See Clinical Issues, page 38)

➤ Oxygen Concentrators

(See Clinical Issues, page 41)

CME
Questions!
See Pages
52

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE D'ANESTHÉSIE - RÉANIMATION EN TRAUMATOLOGIE
国際外傷麻酔・クリティカルケア学会
INTERNATIONALE GESELLSCHAFT FÜR ANESTHESIE UND INTENSIVMEDIZIN IM TRAUMA
الجمعية العالمية لتخدير الإصابات والرعاية الحرجية
SOCIEDAD INTERNACIONAL DE ANESTHESIA Y REANIMACION EN TRAUMATOLOGIA

Canadian Hospital Experience with Oxygen Concentrators

Robert M. Friesen, MD, FRCPC

Department of Anesthesia

St. Boniface General Hospital

University of Manitoba

409 Tache Avenue

Winnipeg, Manitoba R21H 2A6 Canada

Email: rfriese@sbgh.mb.ca

Oxygen concentrators (OCs) have been used to provide a primary source of supply of oxygen for some hospitals in Canada since 1989. A recent review of these hospitals¹ (n=52) demonstrated that OCs are safe, practical, and cost-efficient.

USP O₂99 and USP O₂93 are distinct pharmaceutical products.² A typical Canadian OC site is CAN/CSA Z306.5³ compliant and, as such, mandates a product gas of USP O₂93, except that the lower limit of oxygen concentration allowed is 93% rather than 90% (Table 1). The Canadian standards for OC product gas are not diminished and, in fact, in excess of USP O₂93.

In Canada, oxygen concentrators are sited in urban, rural, and geographically remote regions. Although initially trialed in rural sites, their application has been equally successful in urban hospitals.

OCs operate by a process of selective adsorption. A suitably filtered compressed air source is driven across a molecular sieve bed composed of a complex known as zeolite. Zeolite does occur naturally. Synthetic zeolite consists of a rigid structure of silica and aluminum. Sodium or calcium is also

Based on a presentation at the 12th World Congress of Anaesthesiologists, Montreal, Canada, June 2000.

Table 1. Comparison of Cryogenic and OC Sourced Oxygen

Constituent*	Oxygen 99 (USP)	Oxygen 93 (USP)
Oxygen	>99%	>90% <96%†‡
Carbon monoxide	5 ppm	5 ppm
Carbon dioxide	100 ppm	100 ppm
Methane (or equivalent)	100 ppm	25 ppm
Nitrous oxide	5 ppm	5 ppm
Anesthetic agents	0.1 ppm	0.1 ppm
Oil particulate	5 mg.m ⁻³	5 mg.m ⁻³
Total halogenated hydrocarbons	5 ppm	5 ppm
Other components or contaminants	1/2 TLV	1/2 TLV

Non-oxygen values are maximum allowable constituent concentrations. CAN/CSA Z305.6 specifies minimum oxygen concentrator performance as oxygen >93% by volume.

Balance, argon and nitrogen.

LV, threshold limit value as defined by the American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH).

Medical Gas Piping System

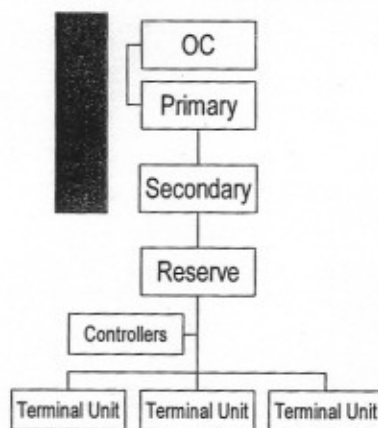


Figure 1. Medical gas piping system with an OC incorporated into the primary supply. For Canadian installations with this configuration, the existing primary oxygen supply would be a bank of compressed gas cylinders. The dark bar denotes the oxygen source of supply that would be in normal operating conditions.

incorporated to act as an additional cation. Selective adsorption then allows only oxygen and argon to transgress the sieve. CAN/CSA Z305.6³ specifies a minimum O₂ concentration of 93%. This is monitored and regulated by technology with a specificity of $\pm 1\%$. OC efficiency can be enhanced by 1) the use of parallel sieve columns, 2) cylinder purges with either a regulated quantity of product gas or, alternatively, an applied vacuum, 3) controllers to regulate cycling between columns accurately, and 4) an appropriately sized storage cylinder.

Canadian OC sites utilize existing medical gas pipelines⁴ and terminal units. In many of these installations, the OC supplements a previous functioning oxygen supply system (Fig. 1). New construction sites, however, utilize only an OC as a primary supply of oxygen. For hospitals where secondary and reserve supplies of oxygen are USP O₂99 sourced, as a normal operating condition, there will be mixing with USP O₂93. This process has no significant clinical consequence. With the use of a supplementary high-pressure oxygen booster, some centers use their OC to replenish secondary and reserve oxygen supplies as well. At these sites, mixing does not occur. In conjunction with the OC, an oxygen booster allows the health care facility to provide oxygen cylinder filling for remote site use as well.

OCs have been documented to have significant positive impact on medical practices. Benefits include a readily available, reliable primary oxygen supply source that is relatively inexpensive. With more than 1 million hours of operation, there have been no reported patient-related critical incidents related to the operation of an OC in Canada. The introduction of an OC not only decreases the unit cost of oxygen significantly but also standardizes these costs across a diverse geographic distribution (Fig. 2).

Acquiring an OC, either during new hospital construction or as an addition to an existing medical gas piping system, incurs a capital cost for equipment purchase and site modification. Previous estimates suggest a payback period of approxi-

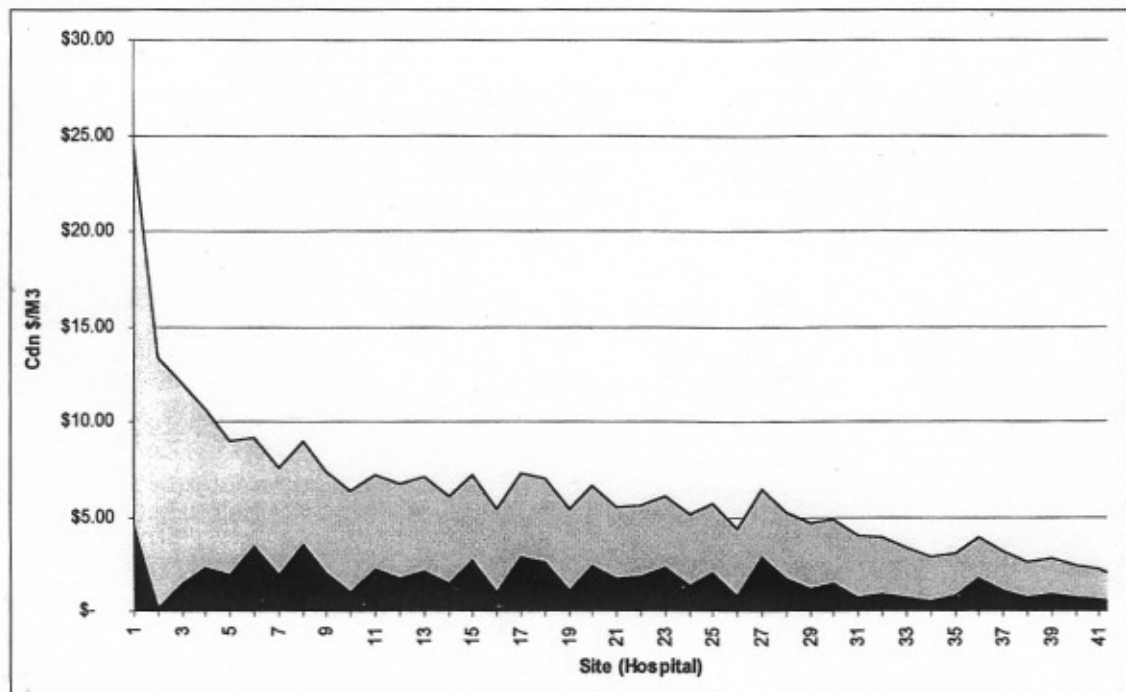


Figure 2. Sites were rank-ordered based on the unit cost (Cdn \$/m³) prior to OC installation (gray shaded area). The unit cost of oxygen was re-evaluated post-OC (dark area). Y axis, unit oxygen cost per cubic meter. X axis, individual health care sites in which complete financial analysis was possible (n=41). (From Friesen RM, Raber MD, Reimer DH. Oxygen concentrators: a primary oxygen supply source. *Can J Anesth* 1999; 46:1185-90.)

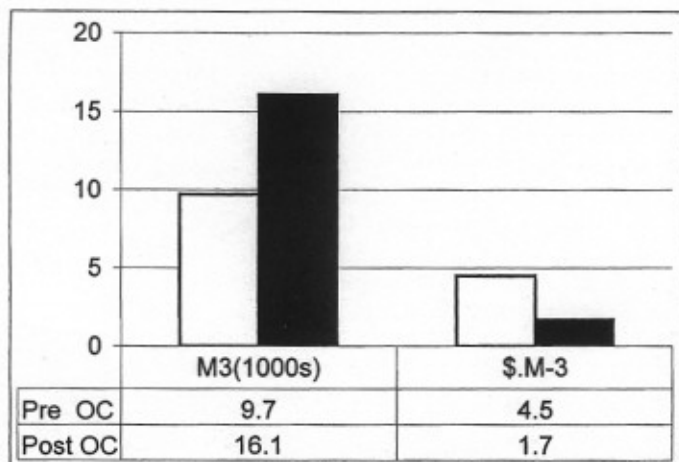


Figure 3. Comparison of use and cost before (open columns) and after (dark columns) oxygen concentrator installation. Left graph, y axis: oxygen utilization in m³ x 1000. Right graph, y axis: unit oxygen cost.

mately 3.6 years.⁵ In acute care hospitals, oxygen supply requirements tend to increase annually. Our recent survey¹ demonstrated that oxygen requirements increased by 66% for those sites with an OC over the 10-year period of the study. On a site-specific basis, this represents an annual increase in oxygen demand of 11%. In 92% of those hospitals surveyed, the existing OC was able to accommodate this increase in demand without enhancement, replacement, or modification. In reality, this represents a form of inflation proofing. The installation of an OC also resulted in a 62% reduction in the unit cost of oxygen. These data are summarized in Figure 3.

CAN/CSA 306.1³ specifies that USP O₂93 be included in the hospital formulary and, by implication, that medical staff are aware of its operation. An OC primary oxygen hospital supply

has specific implications for the operation of anesthetic machines and the administration of general anesthetics.⁶ Circle system total fresh gas flows of <1 liter·min⁻¹ will result in the accumulation of argon in the anesthetic circuit. This results in a concomitant decrease in inspired oxygen concentration. Argon accumulation does not occur with fresh gas flows of >1 liter·min⁻¹.⁷ Argon accumulation is also influenced by the concomitant use of nitrous oxide.

Other medical equipment (Ohmeda, Drager, and Penlon anesthetic machines, oxygen monitors, capnographs, anesthetic agent monitors, and venturi devices) is not adversely affected by the presence of up to 7% argon in the product gas. Oxygen monitors must be calibrated to a known oxygen concentration (room air, USP O₂99, or a known calibration cylinder gas mixture).

OCs provide a reliable primary oxygen source. It has been estimated that OC zeolite sieve beds will require changing every 15 years. This is a relatively inexpensive procedure. A 10-year Canadian experience would suggest this estimate to be correct. As with any other mechanical system, one must stress the importance of periodic maintenance, regular calibration, and monitoring. Daily monitoring and calibration are performed by existing hospital personnel, who report that OC maintenance is less labor intensive than maintaining an oxygen cylinder bank. Use of rotary screw compressor technology has increased the reliability of the OC air supply, and it is compatible with Z305.6.³

Medical gas supply systems must be sized appropriately. Sizing calculations must be such as to meet present and anticipated oxygen demand. Table 2 provides a summary comparison of OC and USP O₂99 medical gas standard sizing considerations.

In summary, OCs provide a safe, reliable, cost-efficient primary supply of oxygen. OCs offer distinct advantages over other bulk oxygen supplies, especially with regard to cost and availability.

Table 2. Hospital Oxygen Source of Supply

	CAN/CSA Z305.1	CAN/CSA Z305.6
Primary supply	*	2x average flow rate
Secondary supply†	*	2 days' average oxygen demand‡
Reserve supply†	Average one day's supply	1.5 days' average oxygen demand‡

*Sized according to health care facility.

†Secondary and reserve supplies are usually O₂99, but OCs can be configured to service same with O₂93.

‡Local conditions such as geographic isolation or an irregular power supply may require greater secondary and reserve supplies.

From Friesen RM. Oxygen concentrators and the practice of anesthesia. *Can J Anesth* 1992; 39:R80-4.

References

1. Friesen RM, Raber MD, Reimer DH. Oxygen concentrators: a primary oxygen supply source. *Can J Anesth* 1999; 46:1185-90.
2. The United States Pharmacopeia. The National Formulary. Rockville, MD, United States Pharmacopeia Convention, Inc., 1998: 18:IV/360.
3. Medical Oxygen Concentrator Central Supply System: For Use with Nonflammable Medical Gas Piping Systems. CAN/CSA Standard Z305.6-M92 Rexdale: Canadian Standards Association, 1992.
4. Nonflammable Medical Gas Piping Systems. CAN/CSA Standard Z305.1-84 Rexdale: Canadian Standards Association, 1984.
5. Friesen RM. Oxygen concentrators and the practice of anesthesia. *Can J Anesth* 1992; 39:R80-4.
6. Parker CJR. The anaesthetist's experience of PSA oxygen: the problem of argon accumulation in low flow anaesthesia. *Health Service Estate (HSE)* 1987; 61:65-70.
7. Parker CJR, Snowdon SL. Predicted and measured oxygen concentrations in the circle system using low fresh gas flows with oxygen supplied by an oxygen concentrator. *Br J Anaesth* 1988; 61:397-402. Ⓞ

8th World Congress of Intensive and Critical Care Medicine

Sydney • Australia
28 October - 1 November 2001

For more information please contact:

Congress Secretariat
8th World Congress of Intensive & Critical Care Medicine

GPO Box 2609
SYDNEY NSW 2001
Australia

Telephone: (+61 2) 9241 1478
Facsimile: (+61 2) 9251 3552
Email: iccm@icmsaust.com.au
Website: www.iccm.aust.com



The 8th World Congress of Intensive and Critical Care Medicine
28 October - 1 November 2001



*Intensive
Care in
the New
Millennium*

Handbook of Disaster Medicine

INTERNATIONAL SOCIETY OF DISASTER MEDICINE
Editors: J. de Boer and M. Dubouloz

This book, published under the auspices of the ISDM contains contributions from international experts on medical care, public health and disaster management aspects, and thus provides a wealth of information to professionals in the field of disaster medicine.

2000; 550 pages ISBN: 90-6764-316-5
Price: USD 103/DEM 164/GBP 61/NLG 185

Orders to (credit cards accepted):
VSP, PO Box 346, NL-3700 AH Zeist,
The Netherlands. Fax: +31 30 693 2081
E-mail: vsppub@compuserve.com
full details on: www.vspub.com

One year free ISDM membership with book:
Contact the ISDM Administrative Office:
Dr. M. Dubouloz, PO Box 133
CH-1254 Jussy-Geneva
Switzerland
Fax: +41 22 759 0550

/// VSP ///

Oxygen concentrators and the practice of anaesthesia

Robert M. Friesen MD FRCPC

With the exception of domiciliary oxygen, the majority of oxygen for clinical use is supplied by large-scale liquefaction. This process is commonly referred to as the cryogenic distillation of air. Oxygen is then supplied to the facility requiring it in either bulk liquid containers or compressed gas cylinders. An alternative oxygen source, especially for existing hospital pipeline systems, has been available in Manitoba since late 1987. On-site production of oxygen is made possible by the use of molecular sieve technology. Molecular sieves allow for the selective adsorption of the components of air. This paper will review the process of oxygen generation by oxygen concentrators as well as the implications of oxygen supplied by an oxygen concentrator to the provision of anaesthesia and other patient therapies.

Selective adsorption of the components of air by naturally occurring substances, zeolites, has been known for more than 60 yr. Although zeolites occur naturally, industrial research has resulted in synthetic molecular sieves of more uniform consistency. Zeolite has a natural affinity for water, which is released on heating. The Greek derivation for zeolite is "boiling stone." Synthetic zeolite used for the production of oxygen consists of a rigid framework of silica and aluminium with an extra cation to make up the positive charge deficit in the structure.¹ Oxygen molecular sieves utilize calcium or sodium as an additional cation. Molecular sieves are available commercially in pellet form utilizing an inert binder.

The physical properties of the gases which come in contact with zeolite (referred to as the adsorbent) determine their relative adsorption to its surface. The major components of air have molecular diameters which are small enough to pass through the pores of a molecular sieve¹ (Table I).

Calcium (or sodium) as an additional cation confers a net positive charge on the pore. The electronic properties of the constituents of the air presented to the zeolite molecular sieve will then determine the strength of the adsorption process. These properties include polarisability, dipole movement and quadrupole movement. The observed adsorption energies¹ are summarized in Table II. The product gas consists primarily of oxygen with some argon.

Adsorption efficiency can be enhanced by a modest increase in operating pressure. The majority of commer-

TABLE I Relative dimensions for molecular sieves

Zeolite pore	4.3 Å
Molecular diameter oxygen	3.4 Å
Molecular diameter nitrogen	3.6 Å
Molecular diameter argon	3.3 Å

Å = Angstrom units = 1×10^{-8} cm.

TABLE II Zeolite molecular species adsorption

		Relative scale
Water	(H ₂ O)	+++++
Carbon dioxide	(CO ₂)	++++
Nitrogen	(N ₂)	+++
Oxygen	(O ₂)	++±
Argon	(Ar)	±

cially available oxygen concentrators enhance their efficiency by using a pressure swing adsorption cycle (PSA). Nitrogen-oxygen adsorption dynamics are accomplished by having two columns of zeolite operating in sequence but with their cycles out of phase by one half a cycle duration. This ensures a constant output of oxygen. Regeneration of each zeolite column is accomplished by "bleeding off" adsorbed nitrogen from the zeolite bed at the end of each cycle and then briefly flushing with a small quantity of the just-generated oxygen. Alternatively, zeolite column regeneration can be accomplished by the application of a brief negative pressure at the end of each cycle.

The components of an oxygen concentrator include a fresh air intake (appropriately sized and filtered), a compressor with air cooler and storage tank, while housed within the actual unit are several zeolite molecular sieve beds as well as a number of controlling devices (Figure 1). A product gas storage tank (primary supply) is usually located in the proximity to the other compressed oxygen sources. Further technological refinements are expected to alter this configuration somewhat.

The United States Pharmacopeia (USP) defines oxygen as containing not less than 99.0%, by volume, of oxygen.²

From the Department of Anesthesia, University of Manitoba, St. Boniface General Hospital, Winnipeg, Manitoba.

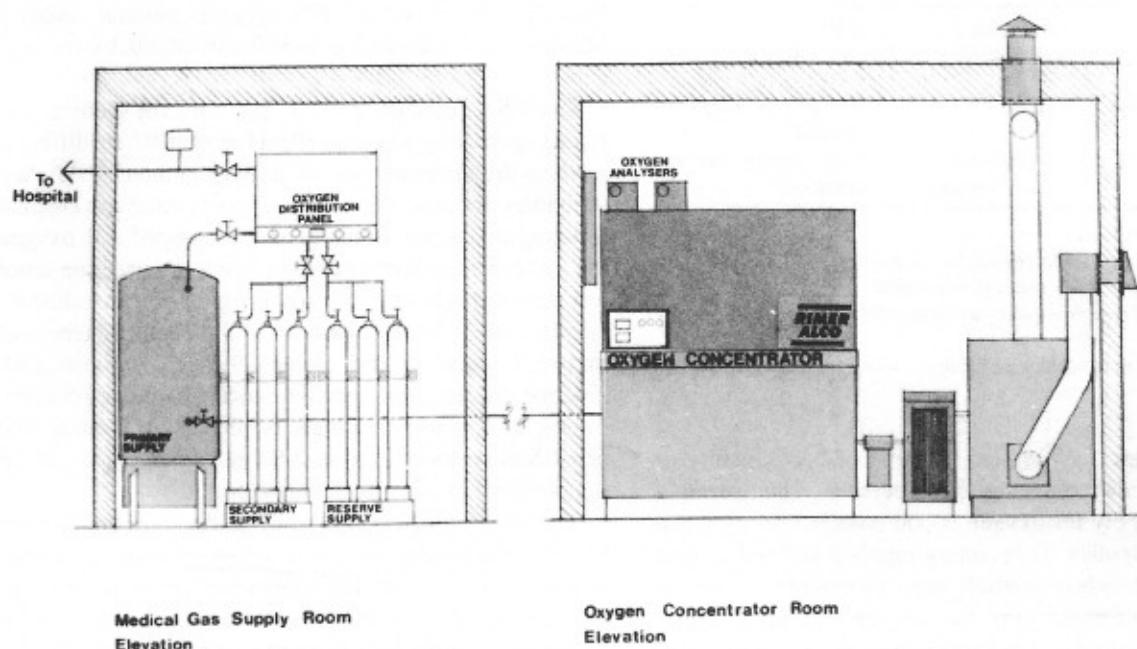


FIGURE 1 Typical oxygen concentrator installation.

TABLE III Comparison of cryogenic and PSA oxygen (allowable constituents)

	Oxygen 99(USP)	Oxygen 93 (USP)
Oxygen	≥99%	>90† ≤96%*
Carbon monoxide	5 ppm	5 ppm
Carbon dioxide	100 ppm	100 ppm
Methane (or equivalent)	100 ppm⊙	25 ppm
Nitrous oxide	5 ppm	5 ppm
Anaesthetic agents	0.1 ppm	0.1 ppm
Oil particulate	1 mg · m ⁻³	1 mg · m ⁻³
Sulphur dioxide	1 ppm	1 ppm
Total halogenated hydrocarbons	5 ppm	5 ppm
Other components or contaminants	1/2 TLV	1/2 TLV

*Balance argon and nitrogen.

†CSA Z305.6 oxygen concentrator minimum performance specification oxygen ≥93% by volume.

ppm – parts per million.

⊙Maximum allowable limit proposed to decrease to 50 ppm in future standards.

TLV – threshold limit value as defined by the American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH).

The product gas produced by a molecular sieve process has been defined as oxygen 93%. It contains not less than 90% and not more than 96%, by volume, of oxygen, the remainder consisting mostly of argon and nitrogen. Oxygen, 93%, was defined in the USP based on limitations of molecular sieve technology until 1984.²

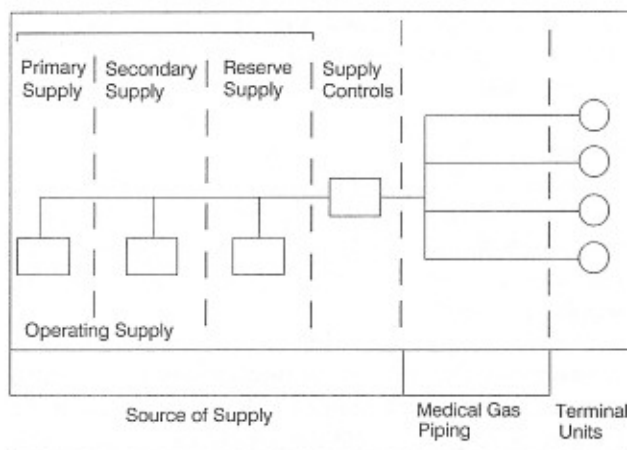


FIGURE 2 Hospital medical gas piping system.

A comparison of the composition of oxygen 99³ and oxygen 93% as well as the maximum allowable limits for the other trace substances listed is shown in Table III. The use of oxygen concentrators to provide a primary supply of oxygen requires that each hospital adopt oxygen 93 (USP) into its formulary.

Standards for hospital medical gas piping systems have been previously addressed by the Canadian Standards Association.³ Individual hospitals may vary somewhat in design but all provide for a primary, secondary and reserve supply of oxygen (Figure 2). Sizing of supply is based on

TABLE IV Hospital oxygen source of supply

	CSA Z305.1	CSA Z305.6*
Primary supply	⊗	2 × average flow rate
Secondary supply†	⊗	2 day's average oxygen demand⊙
Reserve supply†	average one day's supply	1.5 day's average oxygen demand⊙

*Preliminary proposal.

⊙Local conditions such as geographic location or isolation may require greater secondary and reserve supplies.

†Secondary and reserve supplies are oxygen 99 for both supply systems.

⊗Sized according to health care facility.

the health care facility size (number of beds), acuity of care, and predicted average peak demand. The operating source of supply for oxygen is composed of primary and secondary supplies. The primary supply is utilized in most circumstances where centrally supplied oxygen is required. In the event of peak usage, the hospital secondary supply might be required and as such is not an abnormal event. Excessive reliance on a hospital's secondary oxygen supply is not advocated. The reserve supply is utilized only if there is a failure of the operating supply.

Presently, the Canadian experience with oxygen concentrators has been as a primary source of supply of oxygen (Figure 1). In most cases, an oxygen concentrator has been added-on to an existing medical gas pipeline system. Addition of an oxygen concentrator to an existing system, in effect, increases the individual hospital's operating supply for oxygen. The present CSA standards for conventional medical gas piping systems³ are compared with those proposed⁴ for health facilities which utilize an oxygen concentrator as a primary source of supply in Table IV.

Canadian experience with the use of oxygen concentrators for the provision of medical oxygen is limited compared with other countries.⁵⁻⁹ Earlier versions of the oxygen concentrator could not supply the volume, flow rates or consistency of delivered oxygen supply that present technology allows. There are a number of areas of interest and possibly concern to the anaesthetist who practices in a hospital where an oxygen concentrator serves as the primary oxygen supply source.

International¹⁰⁻¹² and local experience has shown oxygen concentrators can provide a reliable supply of oxygen. In Manitoba, oxygen concentrators have been demonstrated to provide a consistent oxygen supply $\geq 95\%$. The remainder of the product gas is argon with trace amounts of nitrogen. Duplicate oxygen monitors continuously monitor oxygen concentrator output and initiate the isolation of the concentrator from the hospital oxygen pipeline system if

the oxygen concentration in the product gas should fall. The Servomex[®] model 571 oxygen monitor used in Manitoba installations has an accuracy of $\pm 0.3\%$ for oxygen.

The CSA standard Z305.1³ provides for medical gas piping specificity. Oxygen 99 and oxygen 93 are different medical drug preparations as defined by the USP.² As the secondary and reserve oxygen supply systems in a hospital utilizing an oxygen concentrator are serviced with oxygen 99, some mixing of these two gases will occur. Experience has shown this to be clinically insignificant. A ruling by Health and Welfare Canada as to the appropriateness of mixing oxygen 93 and oxygen 99 also supports such practice. As previously, the monitoring of oxygen concentration at end use terminals is important. Testing and certification procedures must be modified to account for the presence of an oxygen concentrator.⁴

The majority of existing oxygen therapies are dictated by patient responses and not by minor changes in inspired oxygen concentration. The American College of Surgeons describes an adequate inspired concentration of oxygen for Advanced Trauma Life Support as greater than 85%.¹³

Campbell¹⁴ and Leigh¹⁵ have described the requirements for high volume, consistent oxygen concentration therapy. The Ventimask 3 Oxygen Mask[®] manufactured by Air-Shields Vickers utilizes the venturi principle of air entrainment with a pre-determined flow of oxygen to administer a specific oxygen concentration to a spontaneously breathing patient. Table V summarizes the effect of utilizing oxygen sources other than oxygen 99 on the final product gas. The variation in delivered oxygen concentration is within the one percent variation limit proposed by Campbell.¹⁴

Modern anaesthetic machines which conform to CSA standards¹⁶ are not adversely affected when supplied by an oxygen concentrator. Ohmeda, Drager and Penlon manufacturers were notified of the use of oxygen concentrators in Manitoba before the tendering process for the Manitoba Anaesthetic Upgrade Program.¹⁷ Anaesthetic machines may utilize some form of N₂O-O₂ proportioning device to prevent the inadvertent administration of hypoxic gas mixtures to the patient. Provision of oxygen 93 rather than oxygen 99 to either North American Drager's oxygen ratio monitor controller (ORMC)[®] or the Ohmeda link-25[®] system does not result in an hypoxic inspired oxygen concentration. The Ohmeda link-25[®] system actually increases oxygen flow, if nitrous oxide flow is inadvertently increased, to maintain a minimum N₂O-O₂ flow ratio of 3:1.

Argon's viscosity is similar to that of oxygen but it is more dense (1.78 kg · m⁻³ versus 1.43 kg · m⁻³).¹⁸ The presence of argon (less than seven percent) in oxygen does not alter its flow characteristics.

TABLE V Effect of altered oxygen flow concentrations on the calculated performance of the Ventimask - 3 oxygen mask[®]

Desired O ₂ admin. %	O ₂ flow ¹	Total flow ^{1,2}	Calculated inspired O ₂ % ³		
			O ₂ (99)	O ₂ (95)	O ₂ (93)
24	3	78	24	23.8	23.8
28	6	66	28	27.7	27.6
35	12	67	35	34.2	33.9

¹Flows as per Ventimask - 3 oxygen mask[®] specifications.

²Total flow = O₂ + entrained flow.

³Calculated inspired O₂ = O₂ content (flow volume)/total flow volume.

⁴Assumes entrained air FiO₂ = 0.21.

Infra red, galvanic cell and paramagnetic monitoring technologies are not adversely affected by the presence of argon. Gas mass spectrometer analysis of anaesthetic gases may require "programming" for increased concentrations of argon. This is similar to the previous experience of Williams and Benson¹⁹ with helium.

Argon is an anaesthetic at between 15.2-16.9 atmospheres absolute.²⁰ By comparison, oxygen is a potential convulsant at 3 atmospheres absolute and an anaesthetic at 15 atmospheres absolute. There are no known physiological effects from either long- or short-term exposure to low concentrations of argon.^{20,21}

Low flow or closed circuit anaesthetic techniques represent a special problem with the use of oxygen supplied by molecular sieve technology. Argon accumulation occurs as a necessary consequence of selective oxygen uptake. The major determinants of argon accumulation are the circuit fresh gas flow and the patient's rate of oxygen consumption.^{18,22} The concomitant administration of nitrous oxide further complicates this process. Once again the importance of circuit oxygen concentration monitoring cannot be over-emphasized.

Unpublished data from hospital installations in the United Kingdom, the American Military and Rimer Alco (one of several oxygen concentrator manufacturers), as well as published data¹¹ demonstrate that the zeolite molecular sieve is a very effective filter for most potential air pollutants. Possible contaminants or sources tested include motor vehicle exhaust, jet aircraft air compression "bleeds,"²¹ ethylene oxide, sulphur dioxide, numerous, hydrocarbons as well as agents usually reserved for chemical warfare. Agents introduced into the air inlet of the test oxygen concentrators included live chemical warfare agents (mustard gas, sarin, hydrogen cyanide, cyanogen chloride) as well as dimethyl methylphosphonate, methyl chloride and perfluoroisobutylene. The molecular sieve did not allow any of these agents to transgress it and thus contaminate the product gas. It has been suggested that cross contamination of the molecular

TABLE VI Cost summary - oxygen concentrators in Manitoba

Hospitals	22
Hospital size	11 - 152 beds
Total # patient beds	929
Capital cost/facility	\$22,265- \$342,895
Pay back period [†]	1.6-5.0 years
Projected savings (13 years)*	\$6,463,872

[†]Mean payback period 3.6 years.

*Assumes a 6% increase in non-capital costs and a stable cryogenic oxygen market.

sieve by agents which adhere to it irreversibly will result in decreased efficiency of the sieve. This condition would be detected by the in-line oxygen monitor.

The major impetus for the refinement of molecular sieve oxygen concentrators has been the lack of reliability of supply, as well as the cost of oxygen in many parts of the world. Oxygen concentrators are presently utilized to provide medical grade oxygen in a wide spectrum of applications. Some of these include military applications (mobile hospitals, fighter aircraft,²³ naval vessels) as well as remote medical facilities throughout the world and most recently in North America. The economics of oxygen concentrators have been most favourable.^{12,24}

Excessive increases in the cost of supply of oxygen in the mid-1980s provided a stimulus for the Province of Manitoba to seek alternative oxygen sources. With the cooperation of a local manufacturer/supplier of oxygen concentration technology (Rimer Alco, Morden, Manitoba), a pilot project was undertaken by the Manitoba Health Services Commission. There are presently 22 hospitals in the Province of Manitoba whose primary oxygen source is an oxygen concentrator. Table VI summarizes the associated costs and projected savings of these installations.

A further benefit recognized by the installation of oxygen concentrators has been increased competition in the oxygen supply market place. Hospital purchasing agents have noted decreases in quotations for compressed

or liquid primary oxygen 99 supplies as they considered tendering for oxygen concentrator installation. An analysis was made in those hospitals where documentation of previous oxygen supply costs were available and in which no other factors which could have accounted for a reduced cost of oxygen supply were operational. Six such hospitals, between 40 and 250 beds, recognized an accumulated annual savings of \$183,527. Urban facilities realized a 34–41% decrease in oxygen supply costs while some rural facilities realized savings in excess of 50% of the previous documented cost. Whether such reductions in cryogenic oxygen supply costs will be continued in future years is unknown at this time.

In summary, oxygen concentrators utilizing molecular sieve technology offer a safe, reliable and relatively inexpensive supply of oxygen for hospital medical gas pipeline systems. The development of a CSA standard⁴ for oxygen concentrators will ensure a uniform standard of installation, testing and safe application in Canada.

References

- 1 Penny M. Physical and chemical properties of molecular sieves – the pressure absorption cycle. *Health Service Estate (HSE)* 1987; 61: 44–9.
- 2 The United States Pharmacopeia, The National Formulary. Rockville Md. United States Pharmacopeial Convention, Inc. 1989 USP XXII NF XVII 1990: 991–2.
- 3 Nonflammable Medical Gas Piping Systems. CSA Standards Z305.1 – M84. Rexdale: Canadian Standards Association 1984.
- 4 Medical Oxygen Concentrator Central Supply System: For Use with Nonflammable Medical Gas Piping Systems proposed CSA Standard Z305.6M. Rexdale: Canadian Standards Association 1991.
- 5 Enzi-Ashi TI, Popworth DP, Nunn JF. Inhalational anaesthesia in developing countries Part II: Anaesthesia 1983; 38: 736–47.
- 6 Harris CE, Simpson PJ. The "Mini O₂" and "Heathdyne" oxygen concentrators. Their performance and potential application. *Anaesthesia* 1985; 40: 1206–9.
- 7 Fenton PM. The Malawi anaesthetic machine. Experience with a new type of anaesthetic apparatus for developing countries. *Anaesthesia* 1989; 44: 498–503.
- 8 Donald S. Use of the Haloxair[®] apparatus with an oxygen concentrator (letter). *Can J Anaesth* 1987; 34: 538–9.
- 9 Swan BB. Oxygen concentrators (letter). *Can J Anaesth* 1987; 34: 538–9.
- 10 Arrowsmith LWM. Oxygen concentrators for medical gas pipeline systems. *Health Service Estate (HSE)* 1985; 57: 50–1.
- 11 Barnes JW. Quality assurance and the oxygen concentrator. *Health Service Estate (HSE)* 1987; 61: 55–61.
- 12 Henke I. New technology for oxygen supply. *Hospital Engineering Connection* 1991; 13: 11–15.
- 13 Advanced Trauma Life Support Student Manual. Chicago; American College of Surgeons, 1989: 14.
- 14 Campbell EJM. A method of controlled oxygen administration which reduces the risk of carbon dioxide retention. *Lancet* 1960; 2: 12–4.
- 15 Leigh JM. Variation in performance of oxygen therapy devices. Towards the rational employment of the dephlogisticated air described by Priestley. *Ann Roy Coll Surg Engl* 1973; 52: 234–53.
- 16 Continuous-Flow Inhalational Anaesthetic Apparatus (Anaesthetic Machines) for Medical Use. CSA Standard Can – Z168.3 – M84. Rexdale: Canadian Standards Association 1984.
- 17 Friesen RM, Hatton G, Bjornson J. The upgrading and replacement of anaesthetic equipment: a provincial approach. *Can J Anaesth* 1990; 37: 889–95.
- 18 Parker CJR. The anaesthetist's experience of PSA oxygen: the problem of argon accumulation in low flow anaesthesia. *Health Service Estate (HSE)* 1987; 61: 65–70.
- 19 Williams EL, Benson DM. Helium-induced errors in clinical mass spectrometry. *Anesth Analg* 1988; 67: 83–5.
- 20 Halsey MJ. The physiology of argon, nitrogen and oxygen mixtures and the safety of PSA gas. *Health Service Estate (HSE)* 1987; 61: 53–5.
- 21 Cotes JE, Douglas-Jones AG, Saunders MJ. A 60% oxygen supply for medical use. *BMJ* 1969; 4: 143–6.
- 22 Parker CJR, Snowdon SL. Predicted and measured oxygen concentrations in the circle system using low fresh gas flows with oxygen supplied by an oxygen concentrator. *Br J Anaesth* 1988; 61: 397–402.
- 23 Harding RM. The role of molecular sieves in modern fighter aircraft. *Health Service Estate (HSE)* 1987; 61: 50–3.
- 24 Dobson MB. Oxygen concentrators offer cost savings for developing countries. A study based on Papua, New Guinea. *Anaesthesia* 1991; 46: 217–9.

Concentrateur d'oxygène: leur place en anesthésie

Robert M. Friesen MD FRCPC

Si l'on exclut l'oxygène utilisé à domicile, la plus grande partie de l'oxygène en usage clinique est fourni sous forme liquide. On définit habituellement ce processus comme la distillation cryogénique de l'air. L'oxygène est ensuite fourni à l'utilisateur soit dans des réservoirs ou des cylindres de gaz comprimé. Une source différente d'oxygène, surtout pour les systèmes de conduits hospitaliers existants, est devenu disponible au Manitoba en 1987. La production sur place d'oxygène est rendue possible par l'utilisation d'une technologie basée sur le tamis moléculaire. Un tamis moléculaire permet l'absorption sélective des composantes de l'air. Ce texte passera en revue les processus de génération d'oxygène par les concentrateurs d'oxygène ainsi que les implications de l'approvisionnement en oxygène par les concentrateurs pour les besoins de l'anesthésie et autres services hospitaliers.

L'absorption sélective des composantes de l'air par des substances naturelles, les zéolites, est connue depuis plus de 60 ans. Même si les zéolites sont d'origine naturelle, la recherche industrielle a permis de produire des tamis moléculaires synthétiques de composition beaucoup plus uniforme. Le zéolite a une affinité naturelle pour l'eau qui devient libérée au chauffage. Le mot est d'origine grecque et signifie « pierre qui boûit ». Le zéolite synthétique utilisé pour la production de l'oxygène est composé d'un treillis de silice et d'aluminium comprenant un cation supplémentaire pour créer un déficit de charge positive dans la structure.¹ Les tamis moléculaires pour l'oxygène utilisent du calcium ou du sodium comme cation supplémentaire. Les tamis moléculaires sont disponibles commercialement sous forme de granules agglomérés par un composé inerte.

Les propriétés physiques des gaz qui viennent en contact avec le zéolite (l'adsorbant) déterminent leur adsorption relative à sa surface. Les composantes principales de l'air ont des diamètres moléculaires qui sont suffisamment petits pour qu'elles passent à travers les pores d'un tamis moléculaire (Tableau I).¹

Le calcium (ou le sodium) comme cation additionnel procure une charge positive nette sur la pore. Les propriétés électroniques des composantes de l'air amenées au tamis moléculaire de zéolite seront donc les déterminants de la force du processus d'adsorption. Ces propriétés incluent la polarisabilité, les mouvements dipolaires et quadripolaires. Les énergies d'adsorption observées¹ sont

TABLEAU I Dimensions relatives des tamis moléculaires

Pore de zéolite	4,3 Å
Diamètre moléculaire O ₂	3,4 Å
Diamètre moléculaire N ₂	3,6 Å
Diamètre Ar	3,3 Å

1 Angstrom = 1×10^{-8} cm.

TABLEAU II Adsorption de molécules par le zéolite

		<i>Échelle relative</i>
Eau	H ₂ O	+++++
Dioxyde de carbone	CO ₂	++++
Azote	N ₂	+++
Oxygène	O ₂	++±
Argon	Ar	±

résumées dans le Tableau II. Le gaz produit est composé essentiellement d'oxygène avec un peu d'argon.

L'efficacité de l'adsorption peut être améliorée par une augmentation modérée de la pression d'opération. La majorité des concentrateurs d'oxygène disponibles sur le marché augmentent leur efficacité en utilisant un cycle d'adsorption par oscillation de pression (PSA). La dynamique de l'adsorption de l'azote et de l'oxygène s'accomplit en mettant en séquence deux colonnes de zéolite dont les cycles sont déphasés pour une valeur de durée d'1/2 cycle. Ceci assure une production constante d'oxygène. La régénération de chaque colonne de zéolite se fait en évacuant l'azote adsorbée du lit de zéolite à la fin de chaque cycle, et en le chassant brièvement avec une petite quantité de l'oxygène qui vient juste d'être produit. Une alternative à cette régénération consiste en l'application d'une pression négative de courte durée à la fin de chaque cycle.

Les composantes d'un concentrateur d'oxygène comprennent une entrée d'air frais (de dimension appropriée et avec filtre), un compresseur avec refroidisseur d'air et réservoir d'entreposage, et à l'intérieur de l'unité nous retrouvons plusieurs lits de tamis moléculaire au zéolite ainsi qu'un certain nombre d'appareils de contrôle (Figure 1). Un réservoir d'entreposage du gaz produit (source principale) sera habituellement placé à proximité des autres sources d'oxygène comprimé. On s'attend à ce que

FIGURE 1 Installation typique d'un concentrateur d'oxygène.

des raffinements technologiques modifient quelque peu cette configuration.

La United States Pharmacopeia (USP) définit l'oxygène médical comme contenant pas moins de 99% d'oxygène par volume.² Le gaz produit par le processus de tamisage moléculaire a été lui défini comme de l'oxygène à 93%. Il ne contient pas moins de 90% et pas plus de 96% d'oxygène par volume; le reste se compose surtout d'argon et d'azote. L'oxygène à 93% a été défini de cette façon dans la USP, sur la base des limitations de la technologie du tamis moléculaire jusqu'en 1984.²

Le Tableau III montre une comparaison de la composition de l'oxygène 99³ et de l'oxygène 93 ainsi que les limites maximales pour les traces d'autres substances. L'utilisation de concentrateurs d'oxygène comme source primaire d'oxygène nécessite l'adoption par chaque hôpital de l'oxygène 93 dans son formulaire.

Les normes pour les systèmes de canalisation de gaz médicaux dans les hôpitaux ont déjà été établie par l'Association Canadienne de Normalisation.³ Chaque hôpital peut avoir des variations dans son agencement mais tous doivent avoir un approvisionnement primaire, secondaire et de réserve en oxygène (Figure 2). L'importance de l'installation se base sur la dimension de l'institution (nombre de lits), la dispensation de soins aigüs, et la prédiction de la moyenne des demandes de pointe. La source principale d'oxygène est constituée par un approvisionnement primaire et secondaire. L'approvi-

TABEAU III Comparaison de l'O₂ cryogénique et PSA (composants permis)

	Oxygène 99 (USP)	Oxygène 93 (USP)
Oxygène	≥ 99%	> 90† ≤ 96%*
Monoxyde de carbone	5 ppm	5 ppm
Dioxyde de carbone	100 ppm	100 ppm
Méthane (ou équivalent)	100 ppm‡	25 ppm
Protoxyde d'azote	5 ppm	5 ppm
Agents anesthésiques	0.1 ppm	0.1 ppm
Particules d'huile	1 mg · m ⁻³	1 mg · m ⁻³
Dioxyde de soufre	1 ppm	1 ppm
Hydrocarbures halogénés totaux	5 ppm	5 ppm
Autres composants ou contaminants	1/2 TLV	1/2 TLV

*Balance argon et azote.

†Norme de l'ACNOR Z305,6: performance minimale des concentrateurs d'O₂: O₂ ≥ 93% par volume.

ppm – parties par million.

‡TLV – Limite-seuil définie par l'American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH).

sionnement primaire est utilisé dans la plupart des circonstances où une source d'oxygène centrale est requise. Lorsqu'il y a période de pointe, l'approvisionnement secondaire de l'hôpital peut être utilisé et ceci n'est pas une circonstance anormale. On ne recommande cependant pas une utilisation excessive de la source secondair

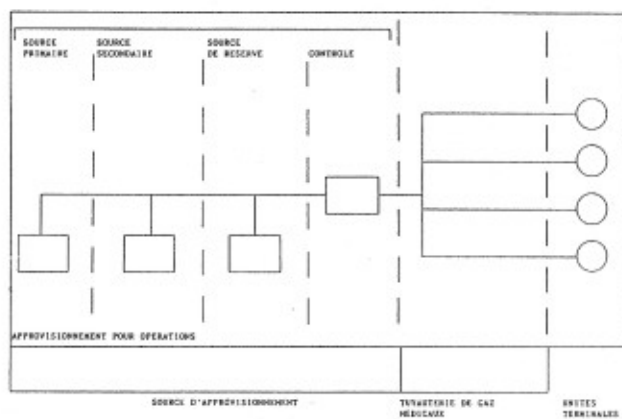


FIGURE 2 Système hospitalier de canalisations de gaz médicaux.

d'oxygène. L'approvisionnement de réserve s'utilise seulement s'il y a une panne.

Actuellement l'expérience canadienne avec les concentrateurs d'oxygène se limite à leur utilisation comme source primaire d'oxygène (Figure 1). Dans la plupart des cas, le concentrateur d'oxygène est ajouté à un système déjà existant de canalisations. L'addition d'un concentrateur à un système déjà en place augmente la source d'approvisionnement en oxygène. Les normes actuelles de l'ACNOR pour les systèmes conventionnels de tuyauterie de gaz médicaux³ sont comparées dans le Tableau IV avec celles suggérées⁴ pour les établissements de santé qui utilisent un concentrateur d'oxygène comme source primaire d'approvisionnement.

L'expérience canadienne en utilisation de concentrateurs d'oxygène pour l'approvisionnement en oxygène médical est relativement limitée lorsqu'on la compare à celle d'autres pays.⁵⁻⁹ Les premiers modèles de concentrateurs d'oxygène ne pouvaient fournir le volume, les débits ou la régularité d'approvisionnement en oxygène que la technologie actuelle nous permet. Il y a un certain nombre de champs d'intérêts et possiblement d'inquiétude pour les anesthésistes qui pratiquent dans un hôpital où un concentrateur d'oxygène sert de source d'approvisionnement primaire.

L'expérience internationale¹⁰⁻¹² et locale a montré que les concentrateurs d'oxygène peuvent être une source fiable d'approvisionnement en oxygène. Au Manitoba, on a démontré que les concentrateurs d'oxygène peuvent donner un approvisionnement continu d'oxygène d'une concentration égale ou supérieure à 95%. Le résidu est composé d'argon et de traces d'azote. Une paire d'analyseurs d'oxygène surveille continuellement la production des concentrateurs d'oxygène et enclenche le débranchement du concentrateur du système de canalisations de l'hô-

TABLEAU IV Approvisionnement hospitalier en O₂

	ACNOR Z305,1	ACNOR Z305,6*
Approvisionnement primaire	¶	2 × débit moyen
Approvisionnement secondaire‡	¶	2 jours de demande moyenne†
Réserve‡	Demande moyenne d'une journée	Demande moyenne pour 1,5 jours

*Proposition préliminaire

†Les conditions locales (remplacement, éloignement) peuvent dicter des sources secondaires plus importantes.

‡Composées d'oxygène 99.

¶Selon la dimension de l'établissement.

pital si la concentration de l'oxygène produit diminue. L'analyseur d'oxygène Servomex modèle 571 utilisé dans les installations du Manitoba a une précision de l'ordre de $\pm 0,3\%$ pour l'oxygène.

La norme de l'ACNOR Z305,1³ concerne la spécificité des canalisations de gaz médicaux. L'oxygène 99 et l'oxygène 93 sont deux préparations pharmaceutiques différentes selon l'USP.² Comme les sources d'approvisionnement secondaire et de réserve d'un hôpital qui utilise un concentrateur d'oxygène sont approvisionnées en oxygène 99, il y aura un certain mélange des deux gaz. L'expérience a démontré que ceci n'avait pas d'importance clinique. Une décision de Santé et Bien-Être Canada sur la justification de mélanger de l'oxygène 93 et de l'oxygène 99 supporte aussi une telle pratique. Comme mentionné plus haut, la surveillance de la concentration d'oxygène en bout de ligne est importante. Les procédures d'évaluation et de certification doivent être modifiées pour tenir compte de la présence d'un concentrateur.⁴

La majorité des traitements à base d'oxygène sont dictés par les réponses des patients et non pas par des changements mineurs dans la concentration inspirée en oxygène. L'American College of Surgeons définit une concentration d'oxygène inspirée adéquate pour la réanimation avancée en traumatologie comme supérieure à 85%.¹³

Campbell¹⁴ et Leigh¹⁵ ont décrit les prérequis pour une thérapie stable et à haut volume par concentration d'oxygène. Le Ventimask® à oxygène #3 manufacturé par Vickers Air-Shields utilise le principe d'entraînement par venturi avec un débit d'oxygène déterminé pour administrer une concentration spécifique d'oxygène à un patient en respiration spontanée. Le Tableau V résume les effets de l'utilisation des sources d'oxygène autres que l'oxygène 99 sur le mélange final obtenu. La variation de la concentration d'oxygène administrée se maintient dans les limites de 1% proposée par Campbell.¹⁴

Les machines d'anesthésie modernes certifiées par l'ACNOR¹⁶ ne sont pas touchées négativement lors

TABLEAU V Effet des changements de concentration d'O₂ dans la source de gaz sur la performance calculée du Ventimask - 3®

% d'O ₂ visé	Débit en O ₂ ¹	Débit total ^{1,2}	% O ₂ calculé la l'inspiration ³		
			O ₂ (99)	O ₂ (95)	O ₂ (93)
24	3	78	24	23,8	23,8
28	6	66	28	27,7	27,6
35	12	67	35	34,2	33,9

¹Débit selon spécifications du Ventimask - 3.

²Débit total = O₂ + débit entraîné.

³%O₂ inspiré calculé = contenu en O₂/volume total.

⁴FiO₂ assumé dans l'air = 0,21.

qu'approvisionnées par un concentrateur d'oxygène. Les fabricants Ohmeda, Dräger et Penlon ont été avisés de l'utilisation de concentrateurs d'oxygène au Manitoba, avant la demande de soumission pour le programme de mise à jour des machines d'anesthésie du Manitoba.¹⁷ Les machines d'anesthésie peuvent utiliser un modèle quelconque de proportionneur de protoxyde d'azote et d'oxygène pour prévenir l'administration par inadvertance d'un mélange hypoxique au patient. L'apport d'oxygène 93 plutôt que l'oxygène 99 au contrôleur de rapport d'oxygène de North American Dräger ou au système Ohmeda Link-25 ne produit pas de mélange inspiré hypoxique. Le système Ohmeda Link-25 en fait augmente le débit d'oxygène, si celui de protoxyde d'azote est augmenté par erreur, pour maintenir un rapport de débit protoxyde/oxygène de 3 : 1.

La viscosité de l'argon est semblable à celle de l'oxygène mais le gaz est plus dense (1,78 kg · m⁻¹ versus 1,43 kg · m⁻¹).¹⁸ La présence d'argon (moins de 7%) dans l'oxygène ne change pas ses caractéristiques de débit.

Les technologies d'analyse par infra-rouge, cellule galvanique ou paramagnétique ne sont pas touchées par la présence d'argon. L'analyse par spectrométrie de masse des gaz anesthésiques peut demander un réajustement du programme pour tenir compte de la concentration augmentée d'argon. Ceci ressemble à l'expérience antérieure de Williams et Benson¹⁹ avec l'hélium.

L'argon est un gaz anesthésique à des concentrations absolues variant entre 15,2 et 16,9 atmosphères.²⁰ En comparaison, l'oxygène est potentiellement convulsivant à trois atmosphères absolues et anesthésique à une pression absolue de 15 atmosphères. Il n'y a pas d'effets physiologiques connus à une exposition courte ou longue à une concentration faible d'argon.^{20,21}

Les techniques à bas débit ou en circuit fermé représentent un problème particulier lorsqu'il y a approvisionnement d'oxygène par technologie de tamis moléculaire. L'accumulation d'argon se produit comme conséquence de la captation sélective d'oxygène. Les déterminants princi-

aux de l'accumulation d'argon sont le débit de gaz frais du circuit et le taux de consommation d'oxygène par le patient.^{18,22} L'administration concomitante de protoxyde d'azote complique ce processus. Une fois de plus on doit insister sur l'analyse continue de la concentration d'oxygène dans le circuit.

Des données non publiées provenant d'hôpitaux du Royaume Uni, de l'armée américaine et de Reimer Alco, (un des nombreux fabricants de concentrateurs d'oxygène) ainsi que des données publiées,¹¹ montrent que le tamis moléculaire au zéolite est très efficace pour filtrer la plupart des polluants de l'air. Les contaminants possibles ou les sources évaluées comprennent les échappements de voitures, les vidanges de moteurs à réaction,²¹ l'oxyde d'éthylène, le dioxyde de soufre, de nombreux hydrocarbures ainsi que les agents habituellement réservés pour la guerre chimique. Les agents chimiques introduits dans l'entrée d'air des concentrateurs d'oxygène évalués comprennent des outils de guerre chimique (gaz moutarde, sarin, cyanure d'hydrogène, chlorure cyanogène) ainsi que le diméthyl méthylphosphonate, le chlorure de méthyl et le perfluoroisobutylène. Le tamis moléculaire n'a permis à aucun de ces agents de filtrer et contaminer le gaz produit. On a suggéré cependant qu'une contamination massive du tamis moléculaire par des agents qui y adhèrent de façon irréversible va produire une diminution d'efficacité du tamis. Cette condition devrait être révélée par l'analyse continue de l'oxygène.

La raison principale qui explique le perfectionnement des concentrateurs d'oxygène par tamis moléculaire a été le manque de fiabilité de l'approvisionnement, ainsi que le coût de l'oxygène dans plusieurs endroits du globe. Les concentrateurs d'oxygène sont actuellement utilisés pour fournir de l'oxygène de qualité médicale dans un large spectre d'applications. Quelques unes de celles-ci comprennent les applications militaires (hôpitaux mobiles, avions de chasse,²³ vaisseaux de la marine) ainsi que des établissements médicaux éloignés à travers le monde et plus récemment en Amérique du Nord. Sur le plan écono-

TABLEAU VI Résumé des coûts : concentrateurs d'oxygène au Manitoba

Hôpitaux	22
Dimension des hôpitaux	11-152 lits
Nombre total de lits	929
Capitalisation/centre	22 265\$-342 985\$
Période d'auto-financement†	1,6-5,0 ans (3,64)
Épargnes projetées (13 ans)*	6 463 872\$

*Assume des augmentations de 6% des coûts annuels d'opération et un marché stable pour l'oxygène cryogénique.

†Période moyenne d'autofinancement: 3.6 ans.

mique les concentrateurs d'oxygène sont considérés sous un oeil très favorable.^{12,24}

Les augmentations excessives dans le coût d'approvisionnement en oxygène au milieu des années 1980 ont poussé la province du Manitoba à rechercher des sources alternatives d'oxygène. Avec la coopération d'un manufacturier et d'un fournisseur local de technologie de concentration d'oxygène (Rimer Alco, Morden, Manitoba), la Commission des Services de Santé du Manitoba a entrepris un projet pilote. Il y a actuellement 22 hôpitaux dans la province du Manitoba dont la source primaire d'oxygène est un concentrateur. Le Tableau VI résume les coûts impliqués et les économies projetées de ces installations.

Un bénéfice supplémentaire amené par l'installation de concentrateurs d'oxygène se retrouve dans la compétition plus importante au niveau du marché d'approvisionnement en oxygène. Les services d'approvisionnement des hôpitaux ont remarqué des diminutions importantes de prix dans les soumissions pour l'approvisionnement d'oxygène 99 sous forme comprimée ou liquide, lorsque ces services ont envisagé de soumettre des soumissions pour l'installation de concentrateurs d'oxygène. On a effectué une analyse dans les hôpitaux où l'on pouvait documenter les coûts antérieurs d'approvisionnement en oxygène, et dans lesquels aucun autre des facteurs qui aurait pu rendre compte de la diminution des coûts d'approvisionnement était en force. Six de ces hôpitaux, de 40 à 250 lits, ont noté des épargnes annuelles accumulées de 183 527\$. Les hôpitaux urbains ont réalisés des économies de 34 à 41% dans le coût de l'oxygène, alors que certains centres ruraux ont réalisé des économies au-delà de 50% par rapport aux coûts antérieurs. Il reste à savoir dans le futur si de pareilles diminutions des coûts d'approvisionnement en oxygène cryogénique se continueront dans le futur.

En résumé, les concentrateurs d'oxygène utilisant la technologie du tamis moléculaire offrent un approvisionnement sûr, fiable et relativement peu coûteux en oxygène pour les systèmes de tuyauterie hospitalière. Le développement de normes de l'ACNOD⁴ pour les concen-

trateurs d'oxygène assurera un niveau uniforme d'installation, d'évaluation et d'application sécuritaire au Canada.

Références

(Voir page R84)