Recent Advances in Anesthesia Machine Design

Essay
Submitted in partial fulfillment of the Masters Degree
In Anesthesiology

Presented By
Alsayed Ahmed Abdellah
M.B., B.Ch

Under the supervision of

Prof. Dr. Gamal Fouad S. Zaki
Professor of Anesthesiology and Intensive Care
Faculty of Medicine – Ain Shams University

Ass. Prof. Waleed A. Altaher
Ass. Professor of Anesthesiology and Intensive Care
Faculty of Medicine Ain Shams University

Faculty of Medicine
Ain Shams University
2011

التطورات الحديثة في تصميم جهـــاز التخدير

رسالة توطئة للحصول على درجة الماجستير
في التخـــدير

مقدمة من
الطبيب/ السيد احمد عبداللاه
بكالوريوس الطب والجراحة

تحت إشراف

الأستاذ الدكتور/ جمال فؤاد صالح زكي
أستاذ التخدير والرعاية المركزة
كلية الطب . جامعة عين شمس

الأستاذ الدكتور/وليد عبد المجيد الطاهر
أستاذ مساعد التخدير والرعاية المركزة
كلية الطب- جامعة عين شمس

كليّة الطب
جامعة عين شمس
٢٠١١

Summary

The anesthesia machine is a device that delivers accurate mixtures of anesthetic gases and inhalational agents at variable controlled flow rates and at low pressure. It accomplishes this via a number of features that are best described by tracing the gas flow through the system from the cylinder or pipeline to the fresh gas outlet.

The exact history of the anesthesia machine starts in1864 when Morton demonstrated the first successful ether anesthesia. In 1917, Boyle developed his continuous-flow anesthesia machine, the design of which is the forerunner of all modern anesthetic machines. Since that lots of efforts were made in developing anesthesia machine and modifying its design directed towards increasing safety, accuracy and adding sophistication. The transition from ether inhalers and chloroform-soaked handkerchiefs to more sophisticated anesthesia delivery equipment occurred gradually, with incremental advances replacing older methods.

The contemporary anesthesia workstation comprises the anesthesia machine, vaporizer, ventilator, monitors, and alarm systems. The workstation, breathing system, and waste gas scavenging system constitute the anesthesia delivery system. Gases (oxygen, nitrous oxide and air) arrive at the machine via the hospital's piped medical gases and vacuum system via colour-coded tubing. Cylinders attached to the back of the machine must be present to provide a back-up supply of gases. The gases pass through pressure-regulating valves into the 'back bar' of the machine. From there, gas flow rate is set using a needle valve that regulates flow into the rotameter.

Rotameters are fixed pressure, variable orifice flowmeters which are accurate to within 2.5%. Modern anesthetic machines may have electronic gas mixers rather than conventional rotameters. The gases pass through a

List of Abbreviations

ACD	:	Anesthetic conserving device.
ADU	:	Anesthesia Delivery Unit.
AEP	:	Auditory evoked potentials.
AIMS	:	Anesthesia Information Management Systems.
APL	:	Adjusting pressure limiting.
ARDS	:	Acute respiratory distress syndrome.
BET	:	The Bolus Elimination Transfer.
BIS	:	Bispectral index.
CLADS	:	Closed-loop anesthesia delivery system.
CPU	:	Central processing unit.
CRT	:	Cathode ray tube.
CVP	:	Central venous pulse.
DISS	:	Diameter Index Safety System.
EEG	:	Electroencephalogram.
EMG	:	Electromyography.
EMI	:	Electromagnetic interference.
EMO	:	Epstein Macintosh Oxford.
EPs	:	Evoked potentials.
FDA	:	Food and drug administration.
HMDs	:	Head-mounted displays.
I:E	:	Inspiration expiration ratio.
IMA	:	Integrated monitor of anesthesia.
IMV	:	Intermittent Mandatory Ventilation.
IR	:	Infrared.
KMG	:	Kinemyography.

List of Abbreviations (Cont.)

kPa	:	Kilopascals.
LAN	:	Local area network.
LCD	:	Liquid crystal display.
MAC	:	Minimal alveolar concentration.
Mbps	:	Megabits.
MLAEP	:	Mid-latency auditory-evoked responses.
MMV	:	Mandatory Minute Ventilation.
NIST	:	Non interchangeable screw threaded.
NMB	:	Neuromuscular blocker.
NMBDs	:	Neuromuscular blocker drugs.
OMV	:	Oxford miniature vaporizer.
OR	:	Operative room.
ORMC	:	Oxygen Ratio monitor controller.
PA	:	Pulmonary artery.
PCV	:	Pressure control ventilation.
PEEP	:	Electronic positive end-expiratory pressure.
PID	:	Proportional integral derivative.
PMG	:	Phonomyography.
PMGV	:	Piped medical gases and vacuum.
Psig	:	Pounds per square inch gauge.
Psig	:	Pounds per square inch.
PSV	:	Pressure support ventilation.
PTT	:	Pulse transit time.
RE	:	Response entropy.
RF	:	Radiofrequency.

List of Abbreviations (Cont.)

SE	:	State entropy.
SEP	:	Somatosensory evoked potentials.
SIMV	:	Synchronized intermittent mandatory ventilation.
SVP	:	Saturated vapour pressure.
TCIs	:	Target control infusion systems.
TECOTA	:	Temperature COmpensated Trichloroethylene Air.
VCV	:	Volume controlled ventilation.
VDU	:	Visual display unit.
VEP	:	Visual evoked potentials.
VIC	:	Vaporizers inside the circuit.
VIE	:	Vacuum insulated evaporator.
VOC	:	Vaporizers outside the circle.
Vt	:	Tidal volume.
WBAN	:	Wireless Body Area Network.
WLI	:	Wavelet index.

List of Tables

Table	*Title*	*Page*
1	Modern classification of breathing systems.	30

List of Figures

Figure	*Title*	*Page*
1	The first public demonstration of ether anesthesia.	30
2	Morton's ether inhaler.	4
3	John Snow's ether inhaler (to the LT) and Clover's bag (to the RT)	6
4	Boyle's Tec Anesthesia Machine.	8
5	Waters' carbon dioxide absorbance canister.	11
6	Junker's inhaler (to the left) early Copper Kettle (to the right).	12
7	Schematic diagram shows Component of Modern anesthesia workstation.	19
8	A diagram showing a modern hospital gas supply.	23
9	Cylinder manifold system (on the RT) Medical gases; bulk stores system (on the LT).	23
10	Non-interchangeable screw-thread connectors for oxygen, medical air and nitrous oxide (LT) and Medical gas cylinders with plastic wrapping. A nitrous oxide cylinder (left) and oxygen cylinder (right).	25
11	A glass flowmeter (LT) An electronic (digital) flowmeter.	28
12	Bain circuit.	32
13	Mapleson systems.	32
14	Anesthesia machine circle system flow schematic.	36

List of Figures (Cont.)

Figure	*Title*	*Page*
15	Electronic (digital) flowmeters with auxiliary oxygen flowmeters and virtual display of digital flowmeters.	47
16	PhysioFlex and Zeus anesthesia workstations.	52
17	Schematic representation of a TCI system for anesthetic drugs.	57
18	TCI with closed loop control.	59
19	The numerical display.	77
20	The mixed numerical–graphical display.	78
21	An anesthesiologist monitors the patient and surgical area while also monitoring vital signs presented on the HMD.	81
22	Simulated image of the anesthesiologist's apparent view while wearing an HMD.	81
23	Sketch of a closed anesthetic breathing circuit using hollow fiber membrane contactors for CO_2 removal.	85
24	Integrated monitor of anesthesia (IMA).	88
25	Zeus anesthesia machine monitor	90
26	Illustration of electronic anesthetic record keeping showing the possibilities for automatic billing, quality control and other possibilities.	103
27	The anesthetist records the patient data.	105

Contents

List of Abbreviations i

List of Tables iv

List of Figures v

Introduction 1

History of the anesthesia machine 3

Components of the anesthesia machine 17

New features of the anesthesia machine 45
a. Gas flow meters 45
b. Volatile anesthetic agent administration 48
c. Intravenous anesthetic agent administration .
d. Ventilators and ventilation modes .....
e. Methods of flow measurement .....
f. Display .....
g. Carbon Dioxide absorbers .....
h. Chassis .....
i. Integrated monitoring and new parameters ...
j. Integrated alarms .....
k. Automated anesthesia record system .....
l. Networking and data management .....

Safety Features of the Modern Anesthesia Machine 114

Summary 126

References 129

Arabic summary ..... --

الملخص العربي

جهاز التخدير هو جهاز يستخدم فى توصيل خليط محدد من الغازات المخدرة فى تدفق محدد عند ضغط منخفض. يرجع التاريخ الدقيق لبداية ظهور جهاز التخدير لعام ١٨٦٤عندما نجح طبيب الأسنان مورتون من استخدام غاز الأثير كمخدر كلى. في عام ١٩١٧ نجح بويل فى تصميم جهاز تخدير عرف باسمه يتميز بتدفق مستمر للغازات، يعتبر تصميم جهاز تخدير بويل نواة لكافة أجهزة التخدير الحديثة. منذ ذلك الحين تم بذل الكثير من الجهود في تطوير تصميم جهاز التخدير وتوجيه هذا التصميم بشكل أساسي نحو إضافة مزيدا من وسائل وتقنيات حديثة تزيد من دقة وأمان عملية التخدير ككل. لا شك أن الانتقال من أجهزة تخدير بدائية كمبخرات الأيثير والمناديل المشبعة بالكلوروفورم إلى أجهزة التخدير الحديثة كان تدريجيا و على فترات متباعدة تم استبدال هذه الوسائل البدائية بأجهزة تخدير حديثة تعتمد اعتمادا كليا على التقنيات الرقمية الحديثة.

يتكون جهاز التخدير الحديثمن جهاز أعطاء الغازات والمبخر و الدائرة التنفسية وجهاز تنفس صناعي و أجهزة ملاحظة وتحكم ونظام تنبيه متكامل و نظام تخلص من الغازات الزائدة. الغازات الطبية (الأكسجين وأكسيد النيتروز والهواء) ونظام الشفط متصلة بجهاز التخدير عبر شبكة الغازات الطبية للمستشفى بجانب شبكة الغازات هذه توجد أسطوانات معلقة على الجزء الخلفي من جهاز التخدير موجودة لتوفير إمدادات احتياطية من الغازات فى حال حدث عطل طارىء لشبكة الغازات.

تمر الغازات عبر صمامات منظمة للضغط إلى الجزء الخلفى لجهاز التخدير. من هنا تمر الغازات إلى منظمات التدفق والتى هى دقيقة إلى حد كبير. توجد منظمات تدفق الكترونية فى معظم أجهزة التخدير الحديثة تقوم بتنظيم ضغط الغازات الكترونيا حيث تمر الغازات منها إلى المبخر حيث يتم إضافة الغاز المخدر ليشكل خليطا محددا. هذا يصل إلى المريض عبر وصلات

التخدير والتى بدورها يتم فيها إعادة تدوير الغازات بعد امتصاص ثانى أكسيد الكربون منها وذلك لمنع إعادة تنفس المريض لثانى أكسيد الكربون. الغازات الزائدة يتم التخلص منها عبر نظام التخلص من الغازات. وحدات الملاحظة والتحكم ونظام التنبيه و جهاز التنفس الصناعى وجهاز الشفط كلها مكونات أساسية موجودة فى معظم أجهزة التخدير الحديثة.

تتميز أجهزة التخدير الحديثة بالتصميم المنظم و الخلاق والذى يتسم بتقليل الوصلات الخارجية مما يؤدى إلى سهولة الاستعمال وتجنب حدوث مشاكل انفصال أو انثناء هذه الوصلات. كما تم استبدال الأجزاء الميكانيكية الاعتيادية بأجزاء الكترونية متطورة مثال على ذلك منظمات التدفق الرقمية الحديثة و جهاز التنفس الصناعي الملحق بجهاز التخدير الحديث فهو معتمد فى جميع وظائفه اعتمادا كليا على التقنية الالكترونية مما جعله يضاهى أجهزة التنفس الصناعي الموجودة بالعناية المركزة.

نظام الملاحظة والتحكم الموجود بأجهزة التخدير الحديثة هو نظام متطور و متكامل يمكن طبيب التخدير من ملاحظة عملية التخدير ملاحظة دقيقة. كما شهد نظام الملاحظة والتحكم إضافة العديد من المفاهيم الحديثة والمتكاملة التى تغطى الأجزاء الثلاثة لعملية التخدير. أن المنبهات الضوئيةوالسمعية الصادر ة من وحدات الملاحظة والتحكم تتكامل جميعا لتكون جهاز تنبيه متطور وذكى يمكن طبيب التخدير من متابعة عملية التخدير بسرعة ودقة وسهولة. المعلومات الصادرة من وحدة الملاحظة والتنبيه يتم تجميعها بصورة متكاملة إلى وحدة عرض واحدة لتسهل اكتشاف التغيرات الطارئة التى قد تحدث للمريض أثناء عملية التخدير وسرعة التعامل معها.

واحده من الخصائص المهمة لجهاز التخدير الحديث هو التسجيل الالكتروني لجميع ما يحدث أثناء ع خدير. كما يمكن ربط هذه المعلومات

ب الشبكة المعلوماتية لأقسام المستشفى وهذا يسهل عملية الإطلاع على ملفات المرضى و نتائج التحاليل و الإشاعات. أن من أهم الخصائص المتوفرة فى أجهزة التخدير الحديثة هى أنظمة فسيولوجية مغلقة تجعل جهاز التخدير الحديث يتحكم كليا فى عملية التخدير.هذه الأنظمة الفسيولوجية المغلقة تتحكم فى إعطاء المحاليل والمخدر الكلى وعملية التنفس الصناعي وملاحظة المريض.

تحتوى أجهزة التخدير الحديثة على العديد من وسائل الأمان بفضل هذه الوسائل و الخصائص الحديثة أصبحت عملية التخدير أكثر أمانا من ذى قبل. من هذه الوسائل وجود بطارية احتياطية تعمل فى حالة انقطاع التيار الكهربائى كذلك وجود توصيلات الغازات بلون محدد لكل غاز. المبخرات الالكترونية وأجهزة التنفس الصناعي الحديثة كلها وسائل أمان حديثة موجودة بأجهزة التخدير الحالية.

First of all, all gratitude is due to **God** *almighty for blessing this work, until it has reached its end, as a part of his generous help, throughout my life.*

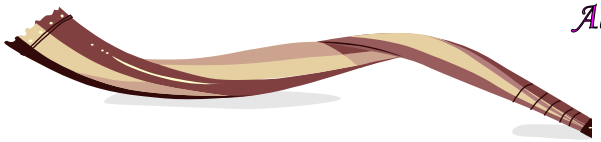
Really I can hardly find the words to express my gratitude to **Prof. Dr. Gamal Fouad S. Zaki** *Professor of anesthesia and intensive care, faculty of medicine, Ain Shams University, for his supervision, continuous help, encouragement throughout this work and tremendous effort he has done in the meticulous revision of the whole work. It is a great honor to work under her guidance and supervision.*

I am also indebted to **Ass. Prof. Waleed A. Altaher** *Assistant professor of anesthesia and intensive care, faculty of medicine, Ain Shams University for his guidance, continuous assistance and sincere supervision of this work .*

I would like also to express my sincere appreciation and gratitude to **Dr. Ahmed M. Abd Elmaksoud** *lecturer of anesthesia and intensive care, faculty of medicine, Ain Shams University, for his continuous directions and support throughout the whole work.*

Last but not least, I dedicate this work to my family, whom without their sincere emotional support, pushing me forward this work would not have ever been completed.

Alsayed Ahmed Abdellah



Introduction

The anesthesia machine is a device that delivers accurate mixtures of anesthetic gases and inhalational agents at variable controlled flow rates and at low pressure. The basic anesthesia machine receives compressed gases (oxygen nitrous oxide, sometimes air, and/or heliox) from tank and/or pipeline supply sources, creates a controlled gas mixture in terms of gas concentrations and total gas flow rates, and delivers this mixture to the vaporizer, where the desired concentration of potent inhaled anesthetic may be added. The resulting fresh gas mixture of known composition and metered production rate is delivered to the patient circuit ***(Morgan, 2006).***

Anesthesia machines have evolved from simple pneumatic devices to complex computer-based, fully integrated anesthesia workstations. Modern anesthesia machines have become extremely sophisticated, incorporating many built-in safety features and devices. These new generation of anesthesia workstations combine functions that in the past were performed by separate components. The contemporary anesthesia workstation comprises the anesthesia machine, vaporizer, scavenging system, modern complex ventilator with new ventilation modes, fully integrated monitors and smart alarm systems ***(Dondelinger, 2004).***

The next technological advance in modern anesthesia workstations is the use of physiological closed loop controllers (PCLC) for medication and fluid delivery and control of ventilation. Physiological closed loop control systems, now available in parts of Europe, utilize inputs of one or more physiological parameters and by computer based algorithm determines one or more outputs. Other new features of modern anesthesia machines are electronic record keeping, integrated intelligent alarm systems, integrated monitors with new monitoring parameters, therapeutic decision support, control of