L'anesthésiologie: une spécialité clinique construite sur les progrès technologiques

Autor(en): **Freymond, Daniel**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 13: **Anesthésie + ingénierie**

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-99217

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

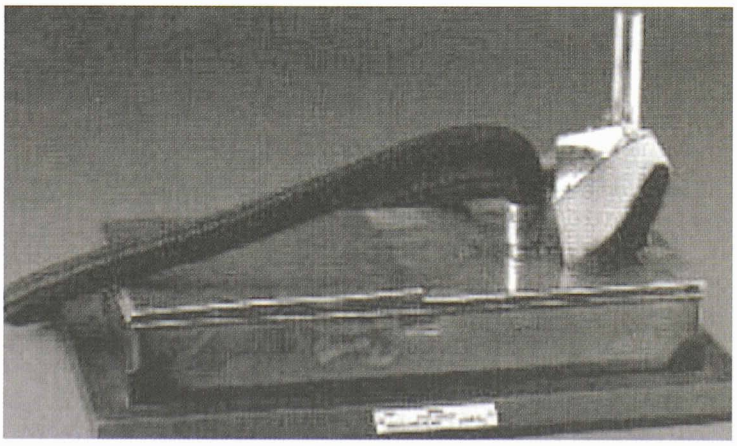
http://www.e-periodica.ch

Daniel Freymond

L'anesthésiologie : une spécialité clinique construite sur les progrès technologiques

L'anesthésiologie est une spécialité médicale fondée sur l'emploi de moyens spécifiques ayant pour but de supprimer la perception douloureuse, dont celle liée aux actes chirurgicaux. Les médicaments employés interfèrent avec les fonctions vitales de l'organisme de façon telle qu'une surveillance intensive du patient anesthésié est nécessaire à sa sécurité. Le champ d'action de l'anesthésiologie inclut les périodes pré-, per- et post-opératoires. L'acte anesthésique peut être décomposé en phases d'induction, de maintien et de récupération (« réveil »). Dans notre pays, l'emploi du matériel et des outils de surveillance propres à la spécialité, de même que la formation des médecins et des infirmiers anesthésistes sont réglés par la Société Suisse d'Anesthésiologie et de Réanimation (SSAR, http://www.sgar-ssar.ch/offdoc_f/offdoc_f.htm). Avant d'atteindre sa reconnaissance actuelle, l'anesthésie a franchi des étapes qui l'ont menée d'un acte expérimental à un geste technique, maîtrisé grâce à l'appui d'instruments, en grande partie développés par des ingénieurs.

1



1846, date clé de l'anesthésie

L'Américain William T. G. Morton fut officiellement le premier à administrer une anesthésie générale à l'éther le 16 octobre 1846, devant public, au Massachusetts General Hospital de Boston. Auparavant, tout acte chirurgical s'accompagnait évidemment de souffrances - sans parler des risques incontrôlés d'hémorragie et d'infection -, mais on contournait le problème en attribuant à la douleur des qualités morales. Jusqu'au début du XIXe siècle, les traités de chirurgie ne mentionnent d'ailleurs tout simplement pas la douleur opératoire, se contentant d'en parler comme élément de diagnostic différentiel du processus pathologique en cause. En Europe, on a ensuite tenté d'atténuer le phénomène par l'hypnose, l'ingestion d'alcool, d'opium ou d'extraits botaniques ou, encore, par l'application locale de compression ou de glace - autant de palliatifs qui, en 1839, amenaient le chirurgien français Louis Velpeau à déclarer: «l'élimination de la douleur opératoire est une chimère qu'il n'est plus possible de continuer à rechercher aujourd'hui ».

Lauréat de la course contre la douleur, l'éther présentait l'avantage d'être facile à administrer car aisé à transporter et très volatil à température ambiante. De plus, des concentrations basses de cet agent permettaient d'atteindre un stade chirurgical d'anesthésie, sans que les patients manquent d'oxygène en respirant de l'air ambiant (qui, rappelons-le, ne contient que 21% d'oxygène). Enfin, comme on le reconnaîtra plus tard, l'éther était le seul agent anesthésique volatil ne causant pratiquement pas de dépression respiratoire ou cardiovasculaire. Particulièrement lente par rapport aux puissants agents utilisés de nos jours, sa cinétique d'induction assurait en effet une grande marge de sécurité aux patients placés entre les mains de médecins s'exerçant à administrer un anesthésique volatil ! Cette « découverte » américaine de l'anesthésie fit rapidement le tour du monde et sa pratique se généralisa les années suivantes.

Fig. 1 : Le vaporisateur d'éther développé par John Snow. Il est composé d'une boîte de laiton remplie d'éther et reliée à un tube spiralé muni d'un masque. Le patient inhale ainsi de l'air mélangé à la vapeur d'éther

Fig. 2 : Clover administrant une anesthésie au chloroforme (à noter : la palpation du pouls radial du patient)

La naissance d'une nouvelle compétence : anesthésiste

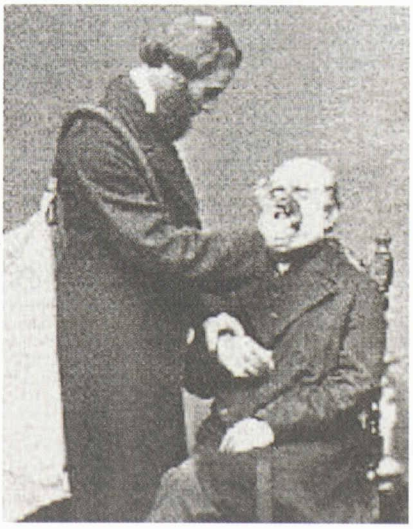
Dans tout le Commonwealth, l'acte anesthésiologique a toujours été pratiqué exclusivement par des médecins qui, encore à l'heure actuelle, n'y bénéficient pas de l'aide d'infirmiers, si bien que le terme « anesthésiste » y désigne par définition un praticien au bénéfice d'une formation médicale complète. Il en va tout autrement dans les autres pays, en particulier aux USA, où l'anesthésie a d'emblée été considérée comme une activité de soutien secondaire, pratiquée dès ses origines par des étudiants en médecine, des infirmiers voire des personnes sans qualification spécifique, tous désignés comme « anesthésistes ». C'est donc pour préciser son appartenance au corps médical, que le médecin anesthésiste américain porte le nom d'« anesthésiologiste ». En Suisse, l'anesthésiologie est pratiquée par des « médecins anesthésistes », assistés d'« infirmiers anesthésistes ». Cela dit, force est de constater que ce sont des médecins britanniques qui donnèrent à la discipline ses lettres de noblesse en fondant sa pratique clinique comme une spécialité médicale à part entière. Ainsi James Young Simpson, célèbre obstétricien d'Edimbourg, fut l'un des premiers à soulager ses parturientes en travail en leur administrant de l'éther. Avec l'aide de jeunes collègues - qui testèrent bravement à peu près toutes les substances volatiles proposées par les apothicaires britanniques - il rechercha ensuite un nouvel agent anesthésique à délai d'action plus rapide. En 1847, Simpson essaya notamment le chloroforme - une substance déjà synthétisée depuis 1831 - au cours d'une soirée entre amis à son domicile : tous les participants qui en inhalèrent tombèrent en léthargie presque instantanément et se réveillèrent peu après, enchantés de cette découverte, que Simpson publia quinze jours plus tard dans la prestigieuse revue médicale britannique *The Lancet*.

Après l'expérimentation, les débuts d'un acte technique

Mais le premier véritable anesthésiologiste fut sans conteste le britannique John Snow, (1813 - 1858), qui entreprit des études détaillées, cliniques et pharmacologiques, sur l'éther, le chloroforme et d'autres substances susceptibles d'offrir des propriétés analgésiques. De surcroît, sa maîtrise clinique en fit l'anesthésiste le plus respecté de son époque. Très vite, il réalisa qu'inhaler et expirer dans un flacon de verre rempli d'éther constituait une méthode perfectible et il inventa un vaporisateur d'éther relié au visage du patient par un tube flexible et un masque muni d'une valve unidirectionnelle, réglant ainsi le problème de la réinhalation (fig. 1). Puis, Snow délaissa l'éther pour se consacrer au chloroforme en raison de sa cinétique avantageuse, mais de ce fait beaucoup plus dangereux vu ses risques de surdosage et de cardio-toxicité. Il mit donc également au point un vaporisateur à chloroforme visant à assurer un enrichissement quantitatif en agent actif de l'air inhalé par le patient. C'est encore lui qui soulagea la reine Victoria des douleurs de ses deux derniers accouchements en lui faisant respirer quelques gouttes de chloroforme sur un mouchoir, donnant ainsi naissance à la technique baptisée « chloroform à la reine » et mettant accessoirement un terme aux débats sur la pertinence d'une analgésie obstétricale. La souveraine écrivit plus tard dans son journal : « Dr Snow gave that blessed chloroform and the effect was soothing, quieting and delightful beyond measure » (Le Dr Snow (me) donna ce chloroforme béni et l'effet en fut calmant, apaisant et excessivement bienfaisant).

Après la mort de Snow, un autre éminent clinicien anesthésiste acquit sa réputation à Londres : Thomas Clover. Il parvint à convaincre tous ses collègues de palper en permanence le pouls des patients durant une anesthésie générale, à l'affût d'un changement signant un surdosage en chloroforme. C'est à Clover qu'on doit la véritable prise de conscience de la nécessité de surveiller les paramètres vitaux du patient anesthésié, à la recherche des effets toxiques, potentiellement mortels, des agents anesthésiques, et c'est lui qui entérina une approche sécuritaire de la pratique, par l'anticipation et la recherche systématique de complications liées à l'anesthésie (fig. 2). Enfin, Sir Frederick Hewitt, anobli après avoir anesthésié le roi Edward VII pour une appendicectomie en 1902, veilla à ce que l'anesthésiologie devienne une branche enseignée dans toutes les écoles de médecine britanniques et inventa un appareil anesthésique capable de

2



La préhistoire des anesthésiants

Alors que les substances diéthyl-éther (« éther ») et protoxyde d'azote (N_2O) étaient connues depuis des siècles, l'utilisation de l'une d'elles à des fins d'insensibilisation n'eut donc officiellement lieu pour la première fois qu'en 1846. Cela étant, l'éther diéthylique était déjà préparé par Paracelse en distillant de l'acide sulfurique (« huile de vitriol ») en présence de vin « fortifié » pour produire de l'« oleum vitrioli dulce ». Le célèbre médecin et humaniste n'avait pas manqué de remarquer que cette substance était capable de plonger des oiseaux de basse-cour dans un sommeil transitoire et que ceux-ci s'en remettaient sans mal, aussi recommanda-t-il son usage pour le traitement des douleurs accompagnant certaines maladies. En 1540, Valerius Cordus prescrivait à son tour l'éther pour soulager la coqueluche et d'autres maladies respiratoires. Au cours des deux siècles suivants, et bien que d'éminents scientifiques britanniques, tels Robert Boyle, Isaac Newton et Michael Faraday se soient penchés sur quelques-unes des propriétés de l'éther, l'utilisation routinière de ce produit demeura cantonnée à un rôle de drogue récréative, dont les miséreux d'Angleterre et d'Irlande absorbaient une ou deux onces lorsque les taxes frappant le gin firent de ce dernier une denrée trop chère ! Tandis qu'en Amérique, de l'éther imbibant des linges noués sur le visage était inhalé par des étudiants en médecine au cours de soirées à l'éther (« ether frolics »).

Le protoxyde d'azote (N_2O) fut quant à lui obtenu pour la première fois en 1773 par Joseph Priestley - le chimiste anglais qui découvrit l'existence de l'oxygène - en chauffant du nitrate d'ammonium en présence de limaille de fer. Or à la fin du XVIIIe siècle, l'intérêt général s'était tourné en Angleterre vers les effets potentiellement salubres de certaines eaux minérales et les bienfaits présumés d'airs particuliers, dans l'idée que de telles substances étaient capables de guérir des maladies. Travaillant au Pneumatic Institute de Bristol, le scientifique Humphry Davy se mit donc à étudier les effets de différents gaz sur l'organisme et découvrit ainsi qu'inhalé, le N_2O offrait la propriété d'atténuer l'intensité d'un mal de tête ou d'une rage de dents. Bien que poursuivant sa carrière en recherche fondamentale, Humphry Davy ne put s'empêcher de divertir les visiteurs du Pneumatic Institute par les effets du N_2O, qu'il baptisa « gaz hilarant ». Pendant les quarante années suivantes, le seul usage du N_2O fut celui de créer l'hilarité et de favoriser la perte des inhibitions lors de soirées ou de spectacles...

Ce fut Horace Wells, un dentiste américain, qui mit réellement en évidence les propriétés analgésiques du N_2O en 1844 et l'administra à ses patients par un tuyau de bois relié à un sac contenant le gaz. Wells enseigna aussi l'anesthésie à William Thomas Green Morton, qui fut officiellement le premier à se servir d'éther pour anesthésier des animaux, avant de le faire sur son fameux premier patient humain le 16 octobre 1846 à Boston.

délivrer un mélange de protoxyde d'azote et d'oxygène en proportions variables. Etant donné qu'un patient anesthésié en respiration spontanée au masque peut perdre le tonus musculaire suffisant pour maintenir perméables ses voies respiratoires supérieures, Hewitt inventa également un instrument qui, introduit dans la bouche du patient endormi, maintient leur perméabilité, geste qui fait aujourd'hui partie de la routine de chaque anesthésiste.

Parce que l'emploi du chloroforme nécessite une grande compétence vu sa toxicité, cet agent est surtout resté entre les mains des médecins anesthésistes britanniques, alors que les Américains ont continué d'utiliser surtout l'éther et ont développé l'emploi du protoxyde d'azote.

Un nouveau pas : l'injection locale d'anesthésique

Cela dit, le développement de l'anesthésiologie inclut encore la découverte des anesthésiques locaux. Alors que l'aiguille creuse existait depuis 1853 et servait à injecter de la morphine directement à l'endroit douloureux à traiter - avec toutefois un effet analgésique général, dû à la résorption et la diffusion de l'opiacé vers ses sites d'action encéphaliques - il fallut encore patienter trois décades avant la première injection d'un alcaloïde végétal doué de propriétés anesthésiques purement locales, la cocaïne, extraite de la feuille de coca. Les propriétés de cette feuille étaient du reste connues depuis des siècles au Pérou par la perte de sensibilité des muqueuses buccales que sa mastication provoquait, si bien que les chirurgiens péruviens accomplissaient des trépanations en mastiquant eux-mêmes de la coca et en laissant couler leur salive dans la plaie opératoire de leurs patients. La cocaïne fut purifiée et ses effets anesthésiques étudiés, mais il fallut le concours d'un jeune étudiant en ophtalmologie viennois, Carl Koller, pour assister à la première utilisation clinique d'un anesthésique local. Le mobile de cette « découverte » était que la chirurgie de l'œil se pratiquait jusque là en anesthésie générale, faute de mieux : le masque facial gênait le chirurgien, le patient endormi était incapable de collaborer et surtout, les fréquentes nausées et vomissements post-opératoires menaçaient le patient de perdre son œil opéré, car l'organe était alors laissé ouvert par le chirurgien qui ne disposait pas encore de moyens de suture adéquats. Ami de Koller, Sigmund Freud s'intéressait à l'époque aux propriétés stimulantes de la cocaïne sur le cerveau et lui en remit un échantillon dans une enveloppe, que Koller mit dans sa poche. Machinalement, il se lécha ensuite les doigts enduits de poudre de cocaïne échappée de l'enveloppe et constata que sa muqueuse buccale était devenue insensible... La publication de Koller, en

1884, sur l'utilisation de la cocaïne en chirurgie ophtalmologique révolutionna de nombreuses autres branches chirurgicales (oto-rhino-laryngologie, chirurgie digestive et urologique...), mais ce succès ne lui permit pas pour autant de trouver un poste d'internat à Vienne, qu'il quitta en 1888 pour s'installer définitivement et faire carrière aux USA. A partir de cette découverte, la cocaïne fut également employée pour bloquer la conduction des troncs nerveux au niveau des bras et des jambes et enfin de la moelle épinière elle-même (« anesthésie spinale » ou rachianesthésie) en traversant les méninges grâce à une aiguille placée entre deux vertèbres et en injectant l'anesthésique local directement dans le liquide céphalo-rachidien. En 1900, on découvrit l'existence d'une substance (l'adrénaline) extraite de la glande surrénale et Heinrich Braun, « le père de l'anesthésie de conduction », eut l'idée de l'associer à l'anesthésique local pour prolonger la durée du bloc d'insensibilité[1].

Parallèlement au gain en popularité de la rachianesthésie, l'utilisation de l'espace épidural (ou péridural) pour l'injection d'anesthésique local fut également étudiée dès le début du XXe siècle. L'avantage de cette technique réside dans l'absence de maux de tête, fréquemment ressentis après une rachianesthésie pratiquée avec une aiguille de calibre important à l'époque, et attribués à la fuite de liquide céphalorachidien par la brèche méningée béante après le retrait de l'aiguille. Le désavantage lié aux premières injections péridurales était la relative courte durée du bloc, ainsi que le risque de toxicité dû aux doses environ cinq fois plus importantes d'anesthésique local nécessaires pour qu'assez de produit diffuse à travers les méninges jusqu'à son site d'action, la moelle épinière. Il fallut attendre 1949 pour qu'un cathéter fabriqué dans un matériau adéquat (soie laquée) puisse être introduit et laissé dans l'espace péridural, rendant possible la première anesthésie péridurale continue (fig. 5 et 6).

Équipement anesthésique

Aux débuts de la spécialité, beaucoup d'actes anesthésiques étaient pratiqués au domicile des patients, si bien que les appareils utilisés par les praticiens demeuraient réduits en taille et en nombre. Puisqu'on connaissait la toxicité du chloroforme, une quantification de la fraction inspirée de cet agent rendit l'utilisation de vaporisateurs nécessaire dès 1867 et on assista ça et là à l'administration d'oxygène et de N_2O stockés dans des cylindres métalliques dès 1870. La surveillance du patient anesthésié reposait entièrement sur les capacités cliniques de l'anesthésiste, qui observait le pouls, la respiration et la couleur des téguments (à la recherche de l'apparition d'une « cyanose », soit d'une coloration bleu-noir de la peau, due à l'accumulation dans le sang sous-cutané d'hémoglobine désoxygénée, dont le spectre d'absorption de la lumière est différent de celui de la forme oxygénée rouge vif). Les premiers chariots d'anesthésie proprement dits[2] firent leur apparition au tournant du siècle et furent équipés de débitmètres gazeux dès 1912. Après la Première Guerre mondiale, plusieurs fabricants américains produisirent des appareils d'anesthésie, déjà grâce à l'aide d'ingénieurs à l'écoute des attentes des cliniciens. Ces machines ont évolué en fonction des dogmes théoriques en vogue, au fur et à mesure que les connaissances en physiologie progressaient. Par exemple, on crut un temps que l'hyperventilation des poumons aboutissant à une hypocapnie - soit une pression partielle de gaz carbonique (CO_2, produit du métabolisme cellulaire) dans le sang artériel au-dessous de sa valeur physiologique - était néfaste pour le patient anesthésié et que l'hypercapnie, à l'inverse, lui était bénéfique. Cela motiva transitoirement le développement d'appareils équipés de bonbonnes de CO_2 supplémentaires et de circuits ventilatoires favorisant la réinhalation des gaz expirés...

Absorbeurs à CO_2

L'utilisation de hauts débits de gaz frais enrichis en anesthésiques volatils inflammables[3] créait un danger d'explosion en salle d'opération. Or ces hauts débits étant nécessaires pour éliminer le CO_2 expiré hors du circuit respiratoire, il était souhaitable de trouver un moyen pour détruire le CO_2 à l'intérieur du circuit, si bien qu'en 1915, le physiologiste américain Dennis Jackson eut l'idée de faire passer ce gaz à travers une solution d'hydroxide de calcium et de sodium, deux molécules formant un précipité avec le CO_2. Cet appareillage complexe et dangereux vu les risques de brûlures par la solution très alcaline fit place, neuf ans plus tard, aux granules solides de chaux sodée, encore utilisées de nos jours. Contenues dans un récipient cylindrique intercalé dans le circuit, ces granules offrent peu de résistance au passage du gaz et, en théorie, un débit de gaz frais sous la forme de 250 ml/min d'oxygène - sans N_2O, dont l'usage se raréfie aujourd'hui - suffit à couvrir la consommation d'un sujet de 70 kg. Les appareils actuellement produits s'approchent de

[1] L'effet vasoconstricteur de l'adrénaline diminue l'afflux local de sang et donc la dégradation de la cocaïne, normalement accomplie par l'enzyme sanguine estérase qui coupe une liaison ester de la molécule.

[2] Equipés uniquement de bonbonnes et d'un vaporisateur destinés à administrer le mélange gazeux - à l'exclusion des dispositifs annexes qui feront ensuite progressivement leur apparition.

[3] On a aujourd'hui remplacé une bonne partie de ces complexes chimiques hydrogénés par des anesthésiques halogénés (Cl, F) non explosifs.

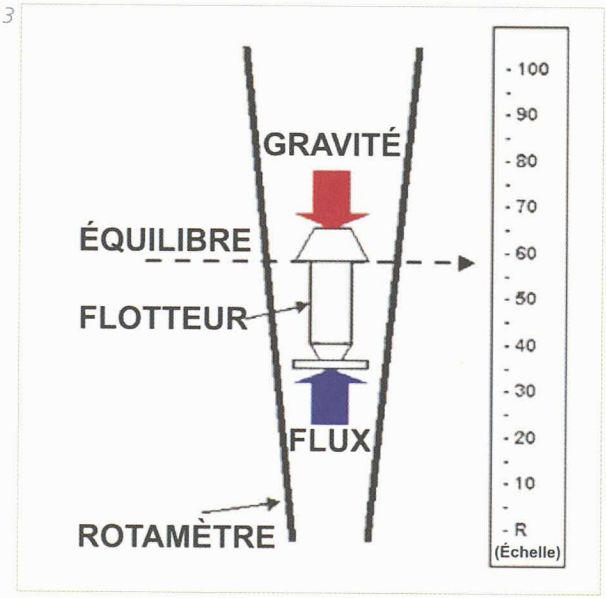
Fig. 3 : Le fonctionnement du rotamètre est basé sur un équilibre créé entre la pression exercée par un flux gazeux donné, pénétrant dans l'appareil et la réaction gravitationnelle du flotteur soulevé

Fig. 4 : Principe de fonctionnement du vaporisateur calibré

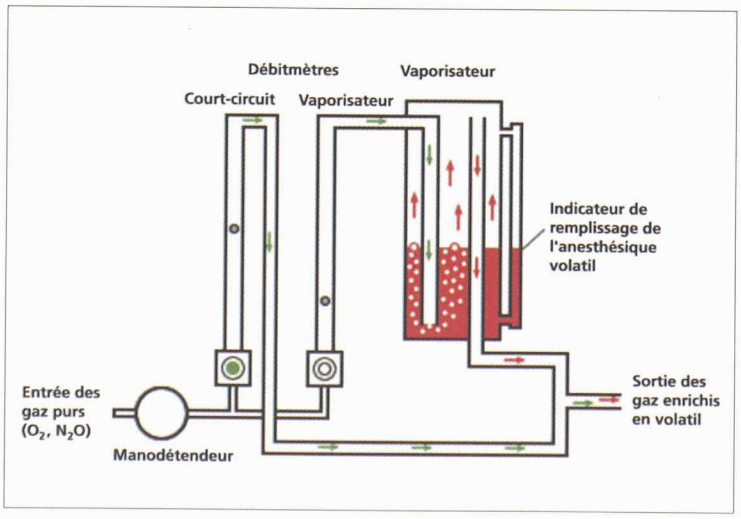
Fig. 5 et 6 : Le principe de la péridurale

Fig. 7 : L'oxymètre de pouls : le principe de cet appareil repose sur l'émission par des diodes d'une lumière dans deux longueurs d'onde et de la mesure de leur absorption par le flux pulsatile. Celle-ci dépend de la teneur en oxygène de l'hémoglobine (voir aussi fig. 9 et 10).

3



4



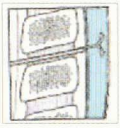
cette valeur et ces faibles débits permettent une économie substantielle de la consommation d'anesthésiques volatils - avec des répercussions non négligeables sur les coûts et la protection de l'environnement. De plus, l'absorption du CO_2 par la chaux sodée s'accompagne d'un dégagement d'eau et de chaleur, deux phénomènes souhaitables pour le maintien de la température corporelle et l'humidification des voies aériennes du patient.

Débitmètres

Un mélange de 70% de N_2O associé à 30% d'oxygène représente un compromis permettant à la fois d'exploiter les effets analgésiques du N_2O et d'apporter une quantité d'oxygène avec une marge de sécurité acceptable pour le patient. On comprend donc la nécessité de mesurer avec exactitude les débits de gaz administrés. On recourut tout d'abord à des débitmètres à liquide, ensuite remplacés par des instruments à bobine et à bille, qui comportaient toutefois le risque de mesure fausse au cas où la bobine ou la bille venait à se coller contre la paroi de verre. Plus sûrs, les rotamètres (fig. 3) n'équipèrent les appareils d'anesthésie britanniques qu'après la Deuxième Guerre mondiale.

Vaporisateurs calibrés

Avec un patient respirant spontanément de l'air ambiant - enrichi ou non en N_2O - auquel s'ajoute un agent volatil à une concentration inconnue, l'induction, le maintien et le réveil d'une anesthésie générale sans encombre tenait vraiment de l'art pour les pionniers de la discipline. La détermination précise de la concentration de l'agent volatil par des vaporisateurs calibrés fut atteinte pour la première fois sous la forme du « copper kettle vaporizer » en 1952 (Lucien Morris, Université du Wisconsin (fig. 4)). Dans cet appareil monté en parallèle sur le circuit respiratoire, un flux constant réglable de gaz traverse une chambre partiellement remplie de volatil et se sature en vapeur d'anesthésique, avant de rejoindre le mélange gazeux inhalé par le patient. Le processus d'évaporation du volatil tendant à refroidir sa phase liquide, le dispositif est en cuivre car la bonne conduction thermique de ce métal assure, grâce à la chaleur du local, le maintien d'une température presque constante de la chambre de vaporisation. Connaissant la pression saturante de vapeur de l'agent à une température que l'on mesure, ainsi que les débits de gaz traversant et contournant le vaporisateur, il devient possible de faire inhaler au patient un mélange gazeux enrichi d'une concentration choisie de volatil. Cela représente un progrès considérable pour la sécurité du malade et pour l'étude des effets cliniques de doses variables de volatils.


5

6

7

Contrôle de la respiration

Au tout début du XXe siècle, les chirurgiens thoraciques assistaient impuissants à l'affaissement systématique du poumon à opérer - par sa propre force de rétraction - dès qu'ils avaient ouvert la cavité thoracique du patient anesthésié en ventilation spontanée. Pour pallier ce phénomène, une approche ambitieuse vit le jour en 1905 : on parvint à opérer des patients ventilant spontanément dont la tête, et donc les voies aériennes, étaient maintenues en pression positive dans un boîtier à l'intérieur d'une salle d'opération dépressurisée ! La recherche sur les conséquences physiologiques d'une ventilation en pression positive par un tube endotrachéal et pour produire des machines à ventiler simples et fiables fut stimulée par l'épidémie de poliomyélite de 1952, où des centaines de patients infectés perdirent la faculté de maintenir leur propre respiration. Mais, déjà pendant la Seconde Guerre mondiale l'ingénieur Ray Bennett avait mis au point une valve mécanique automatisée par sa sensibilité au débit instantané de gaz, qui fut installée dans un ventilateur à pression positive destiné aux pilotes de haute altitude américains. Un second type de valve, encore utilisée de nos jours, fut réalisé par Forrest Bird, ingénieur en aéronautique. Les ventilateurs à pression positive, générant des volumes gazeux propulsés par un moteur électrique ou par surpression autour d'un ballon rempli de gaz, équipent les chariots d'anesthésie depuis plusieurs décennies et sont aujourd'hui utilisés quotidiennement par chaque anesthésiste.

La surveillance du patient se perfectionne

Un patient anesthésié est vulnérable, dans la mesure où il n'a pas conscience de sa condition et se trouve incapable de se protéger d'une agression. La mission de l'anesthésiste est de surveiller étroitement son état, tout en lui permettant de supporter l'agression chirurgicale. Dépourvus d'outils techniques de surveillance, les premiers anesthésistes observaient continuellement la couleur de la peau (oxygénation du sang), la rapidité de recoloration cutanée après compression digitale (reflet du débit cardiaque, lui-même tributaire du volume sanguin), la force et la régularité du pouls (toxicité de l'anesthésique, remplissage vasculaire), le degré de dilatation et la position des pupilles (dose d'anesthésique - « profondeur de la narcose » - et intensité douloureuse de l'acte chirurgical), enfin la régularité et la profondeur des mouvements respiratoires (douleur, dose d'anesthésique). L'évolution temporelle de ces signes devait permettre de corriger une anomalie et prévenir une complication. Non quantifiés, tous ces signes demeuraient toutefois subjectifs et dépendaient essentiellement du degré d'expérience de l'anesthésiste, d'où la difficulté de l'enseignement de la discipline à l'époque. Sans la contribution des ingénieurs pour développer des techniques de mesure continue de nombreux paramètres physiologiques, dont certains échappent même au clinicien le plus expérimenté, une opération serait restée un événement risqué, grevé d'un taux de mortalité élevé.

Considérons maintenant l'évolution de différents moyens de surveillance du patient et des mesures prises pour accroître sa sécurité.

Système cardio-vasculaire

La pression du sang dans les artères dépend de la force d'éjection du ventricule cardiaque gauche et de la résistance à l'écoulement du sang dans les artères selon leur calibre, déterminé par le degré d'activité du système nerveux sympathique. L'Italien Riva Rocci développa une manchette placée autour du bras, qu'on gonflait d'air pour atteindre une pression plus élevée que la pression artérielle. Un manomètre mesurait la pression dans la manchette et une palpation de la réapparition du pouls en aval de celle-ci permettait de déterminer la pression effective dans l'artère en amont. La diminution de calibre d'une artère qui subit une compression extrinsèque s'accompagne d'une augmentation locale de la vitesse du flux sanguin, donnant naissance à des turbulences audibles sous la forme d'un souffle au stéthoscope à l'endroit ou l'artère retrouve son calibre normal, juste en aval de la compression par la manchette. Si cette technique n'a pas varié jusqu'à nos jours, depuis 1936, la pression artérielle est mesurée automatiquement à la manchette, à l'intérieur de laquelle sont détectées les oscillations de pression dues au sang qui commence à la traverser de manière pulsatile (oscillométrie).

De nos jours, on mesure également la pression artérielle de façon « sanglante » (cathéter intra-artériel et mesure continue par un mécanorécepteur dont le signal est transformé en signal électrique) pour la grosse chirurgie et/ou chez des patients dans un état critique. Dans de telles situations, il est désormais également possible de suivre en permanence la morphologie et le fonctionnement des quatre cavités cardiaques du patient, grâce à une sonde à ultrasons placée dans l'œsophage.

Electrocardiographie

Possible dès 1903, la mise en évidence de l'activité électrique du cœur fut d'abord l'affaire des cardiologues avant de faire son apparition en salle d'opération, dès l'invention en 1928 de l'oscilloscope cathodique. Malheureusement, cet appareil, qui présentait trois secondes de données à la fois, fut à l'origine d'explosions en présence d'anesthésiques vola-

tils inflammables et ce n'est qu'après la Deuxième Guerre mondiale que la surveillance électrocardiographique fut systématiquement appliquée aux cas chirurgicaux compliqués. Enfin, l'activité cardiaque et respiratoire peut encore être vérifiée qualitativement grâce à une auscultation continue par un stéthoscope fixé sur la paroi thoracique ou dans l'œsophage, un mode de surveillance qui est peu à peu délaissé de nos jours.

Conduits pour les gaz

Après la Seconde Guerre mondiale, les anesthésistes comprirent qu'il fallait standardiser les dimensions de leur matériel afin d'accroître leur efficacité et augmenter la sécurité. Sous l'impulsion de consensus arrêtés par des experts, on a ainsi réussi à rendre connectables le même tuyau d'un circuit respiratoire aux masques faciaux et tubes endotrachéaux de toutes les tailles. De plus, on a attribué aux différents gaz utilisés en anesthésie un code spécifique universel de couleur et de forme de raccord. Ces mesures n'ont toutefois pas suffi à prévenir des accidents d'anesthésie dus à un montage erroné de conduites de gaz fixes à une prise murale faussement codée, erreur évitable seulement si la composition du mélange gazeux est mesurée dans le bras inspiratoire du circuit ventilatoire.

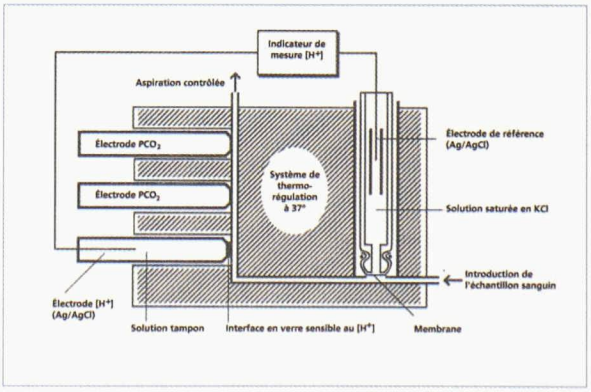
Mesures des gaz à l'intérieur de l'organisme

Dès 1955, la progression des connaissances physiologiques sur la régulation du pH sanguin, couplée à la mise au point d'électrodes polarographiques destinées à la mesure des pressions partielles de l'oxygène (PO_2) et du dioxyde de carbone (PCO_2) sanguins[5], permit un suivi presque instantané de paramètres importants pour l'homéostasie du milieu intérieur des patients (fig. 8). Plus précisément, la mesure de la PCO_2 artérielle servit à régler le niveau de ventilation pulmonaire des respirateurs en salle d'opération et aux soins intensifs. Comme la PCO_2 des alvéoles pulmonaires est en équilibre, donc pratiquement égale à celle du sang artériel, on utilisa l'absorption infrarouge du CO_2 pour mesurer la concentration de ce gaz à chaque cycle respiratoire dans un échantillon de gaz prélevé en continu à l'orifice du tube endotrachéal. On alla même jusqu'à utiliser la spectrométrie de masse pour suivre les concentrations des autres gaz, y compris des anesthésiques volatils, dans le mélange gazeux inhalé et expiré par le patient anesthésié. De nos jours, la composition du mélange gazeux entrant et sortant des voies aériennes du patient est examinée en permanence quant à son contenu en O_2, CO_2, N_2O et en anesthésique volatil, une alarme sonore et lumineuse étant activée si l'un de ces paramètres s'écarte d'une valeur normale fixée par défaut ou ajustée par l'anesthésiste.

Mesure continue de la saturation du sang en oxygène

Même si la mesure de la PO_2 artérielle dans des échantillons de sang prélevés à des intervalles réguliers donne, dans les situations où cette mesure est nécessaire, déjà une bonne idée de l'oxygénation du patient, il parut néanmoins souhaitable pour sa sécurité d'obtenir une mesure continue de l'oxygénation de son sang artériel. La technologie utilisée a encore une fois été développée durant la Seconde Guerre mondiale par un physiologiste américain, Glen Millikan, désireux de s'assurer que l'oxygène supplémentaire administré à des pilotes de haute altitude en environnement non pressurisé se retrouvait bien dans leur sang. Il mit au point un capteur fixé au lobe de l'oreille qu'il appela « oxymètre » et commença juste à s'intéresser à l'emploi de l'oxymètre sur le patient anesthésié lorsqu'il décéda en 1947. L'oxymétrie repose sur la spectrophotométrie de l'hémoglobine saturée en oxygène (fig. 10). L'oxymétrie demeura cantonnée dans les laboratoires de recherche jusque dans les années 70, où un ingénieur japonais, Takuo Aoyagi, s'attela à améliorer la technique de l'oxymétrie transcutanée en éliminant le parasite majeur de la mesure représenté par la pulsatilité du sang artériel. Dans son travail, Aoyagi eut finalement l'idée d'utiliser les pulsations du sang dans les artères comme moyen de discriminer les valeurs artérielle (celle qui renseigne sur la fonction des poumons) et veineuse de saturation de l'hémoglobine en oxygène. La technique de l'« oxymétrie pulsée » se fonde sur la propriété de l'hémoglobine d'absorber la lumière dans un spectre différent selon qu'elle est liée ou non

8



[5] L'oxygène en abondance assure la survie des cellules de l'organisme, tandis que la PCO_2 détermine, entre autres, le calibre des artères pulmonaires et cérébrales, donc l'apport sanguin dans ces deux territoires.

Fig. 8 : Système de mesure des paramètres sanguins. La plupart des dispositifs à usage clinique comportent des électrodes assurant la mesure des pressions partielles de l'oxygène et du dioxyde de carbone (PO_2 et PCO_2).

Fig. 9 : Variation de l'absorption lumineuse par l'oxyhémoglobine et la déoxyhémoglobine en fonction de la longueur d'onde de la lumière

Fig. 10 : Principe de fonctionnement d'un oxymètre

(Documents Internet)

à une molécule d'oxygène. Pour ce faire, une enceinte obscure en forme de pincette est placée à l'extrémité d'un doigt (fig. 7). Le tissu digital est traversé alternativement par deux faisceaux de lumière de longueurs d'ondes différentes - l'une dans le rouge à 660 nm (absorbée par la déoxyhémoglobine) et l'autre dans l'infrarouge à 940 nm (absorbée par l'oxyhémoglobine) (fig. 9) - qui sont détectés par une cellule photoélectrique. Plusieurs centaines de fois par seconde, les diodes lumineuses sont allumées et éteintes, une pause des deux faisceaux étant également prévue dans le cycle, afin de mesurer la lumière ambiante infiltrée dans le capteur et de corriger son influence sur la mesure. Un microprocesseur est programmé pour analyser les changements d'absorption lumineuse du flux pulsatile artériel et pour ignorer la composante non-pulsatile du signal due au tissu digital et au sang veineux. A noter que l'oxymétrie pulsée est incapable de discriminer la présence d'hémoglobine liée au monoxyde de carbone (carboxyhémoglobine) : cette dernière absorbant la lumière pratiquement à la même longueur d'onde que l'oxyhémoglobine, la méthode n'est donc pas un moyen de détecter une intoxication au CO.

Activité cérébrale

En 1946, une collaboration entre anesthésistes et neurologues les amena à suivre et comparer les tracés électroencéphalographiques (soit l'activité électrique du cortex cérébral) de patients anesthésiés à des concentrations variables de volatils : la « profondeur » de l'anesthésie, jadis estimée par quelques signes observés sur le patient, devenait mesurable ! A noter que, de nos jours, un appareil (*BIS*™) enregistre, traite selon un programme mathématique breveté aboutissant à un score de profondeur d'anesthésie, puis imprime les données d'un nombre croissant de patients anesthésiés aux USA (voir « Monitorage de la profondeur de l'anesthésie » en p. 16). Scrupuleusement conservé dans le dossier du patient, ce « printing » est destiné à en ressortir au cas où l'anesthésiste serait poursuivi en dommages-intérêts à cause de souvenirs per-anesthésiques. On imagine les conséquences économiques d'une telle approche !

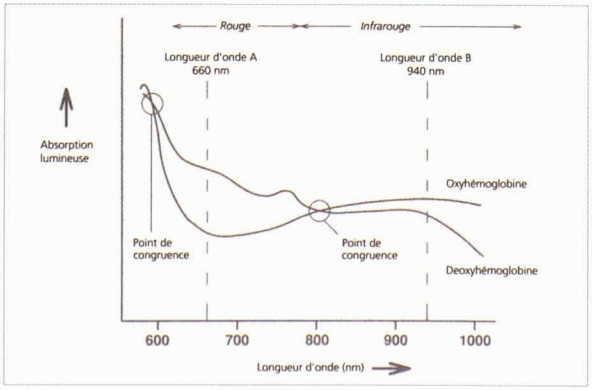
Conclusion

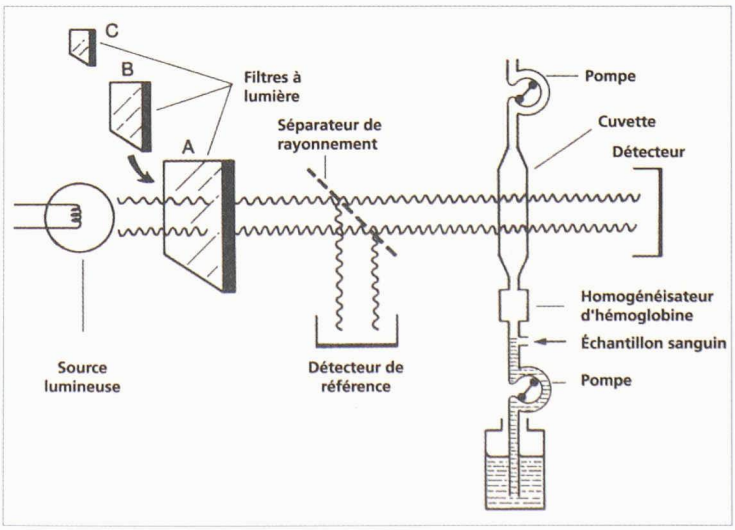
Spécialité médicale exploitant de façon cruciale les ressources technologiques, l'anesthésiologie est une pratique dont les développements permettent aujourd'hui la survie en toute sécurité de patients de plus en plus fragiles soumis à des traitements chirurgicaux de plus en plus agressifs. Les méthodes actuelles de surveillance permettent en outre l'utilisation sûre de substances médicamenteuses dont les effets secondaires dangereux peuvent être anticipés, reconnus et traités. Or le rôle joué par l'ingénieur dans cet essor mérite d'être reconnu et salué.

Daniel Freymond, MD, PhD
Médecin-chef, Département d'anesthésiologie
Hôpital intercantonal de la Broye, CH - 1530 Payerne

Références
Barash PG, Cullen BF, Stoelting RK : Clinical Anesthesia. 4th Ed, 2001. Lippincott, Williams & Wilkins Ed. pp 3-15.
Davis PD, Parbrook GD, Kenny GNC : Basic Physics and Measurement in Anaesthesia. 4th Ed, 2000. Butterworth & Heinemann Ed. pp 235-239.

Pour en savoir plus
http://www.infiweb.org/D/materiels/monitorage/spo2.html
http://www.hug-ge.ch/anesthesie/images/rachi.jpg
http://www.astrazeneca.be/nl/sante/anes_1.htm



9

10