
Editorial

Anaesthesia technology: friend *and* foe

David Malm, MD, FRCPC
Vancouver, BC.

A REPORT in this Journal by Tong *et al.*, describing mis-use of a syringe pump that resulted in patient recall under total intravenous anaesthesia, presents an honest account and a clear analysis of an all too common situation.¹ Upon reading their report, some readers would say that what is needed is a reliable monitor of anaesthetic depth. However, their report also serves as a reminder that the anaesthetic environment is complex and that the individual technologies we employ are sophisticated. Maintaining one's competency with the profusion of technologies in the anaesthesia workplace is a challenge for all of us. When the internal workings of a device are not understood, it becomes a black box. Thus, we speak of how a device *performs* rather than how it *works*. Performance implies a behavioural approach to understanding in which one's input (pushing a button for example) results in a certain output or device response. Thus, a mental model of how a device works based on its *performance* is gradually built up. This is a haphazard, inefficient and sometimes hazardous way to acquire technical prowess. True competency with anaesthesia technology, on the other hand, requires as much time and energy as does the acquisition of clinical skills. Such equipment competency allows us to develop effective strategies to deal not only with outright device failure, but also with the far more common failures that occur at the interface between anaesthetist and machine. Good design, system efficiencies and educational initiatives all play a part in achieving such competency.

The anaesthesia workplace has been studied by psychologists and engineers using the principles of ergonomics. Ergonomics – literally the study of efficiency of work – relates intimately to the safety of anaesthesia. Anaesthetics have become safer: better monitors of oxygenation and ventilation, better drugs and better assessment of high risk pathophysiologies have all played a role. However, the very existence of more monitors and more devices to control our potent and fast-acting drugs increases system complexity and the potential for failures in the OR. For example, during periods of intense activity we may put

off minor problems for later solutions - solutions that may be delayed or even forgotten. There may be little time for careful charting during these active periods and important events that serve as predictors of patient responses may pass unnoticed. Hours of stable anaesthesia, on the other hand, require some (but not enough) mental effort to maintain optimal vigilance. The physical arrangement of monitors may inhibit easy scanning. Alarms may be turned off if frequently false, either due to overly narrow bands of normal, or inappropriate time delays. Multiple, independent alarms may be turned off because of the distractions they provide during busy periods.

Some ergonomic terminology can be helpful in understanding some solutions. In human engineering terms, the operating room consists of *real displays* and *artificial displays*. The real display is the anaesthetist's view (using all senses) of the patient, surgeon, ancillary personnel and equipment. The artificial display has a hardware device (a biological sensor such as a pulse oximeter) interposed between the biological variable and the information presented to the anaesthetist (the monitor-controller in ergonomic parlance). The anaesthetist optimizes vigilance in a variety of ways. First, hopefully, the anaesthetist provides input into the design of the OR. Second, on a case-by-case basis, the anaesthetist positions his machine and monitors in relation to the patient to provide an unimpeded view of real and artificial displays. Ergonomically-correct seating, a clutter-free work area, freedom from entanglements with power cords and power personalities, and reduction of noise are just a few of the items that contribute to one's calm mental outlook, which enhances vigilance and patient safety.

Traditionally, the anaesthetist has had less direct control over the artificial displays. The engineer designing a biomedical sensor has to work in a marketplace where there is a trade off between cost and good ergonomic design. The digital watch on many readers' wrists reflects a strong cost pressure at the expense of an ideal human-machine interface. The engineer must compress a number of modes (time of day, date, change of time, etc.) into a device with only a few buttons and a limit-

ed display space. What is to the engineer an elegant, cost-effective solution, is to the user, a source of confusion as buttons change their behaviour depending upon their modes of operation. Returns of digital watches peak for this reason whenever there is a change between standard and daylight time. Microprocessor control may be added to an already mature device. Instead of a costly design from the ground up to optimize human-machine interaction, such a product update can make the newer model harder, not easier, to use. Organizations such as the Society for Technology in Anesthesia (STA) and the Anesthesia Patient Safety Foundation of the American Society of Anesthesiologists have fostered improved understanding by engineers and anaesthetists of the realities of each others' domains. Better design of artificial displays and more intuitive operation of anaesthetic machines and monitors will result from such cooperation.

Good ergonomic design is not easy. The Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) publishes criteria that define good ergonomic design. Application of these guidelines to a specific device can identify a machine's deficiencies. Even more useful is to undertake a so-called dynamic analysis in which anaesthetists interact with a device that is placed in all its modes of operation.² With the help of a biomedical engineer, deliberate faults are introduced and user interaction is assessed. Because microprocessor-controlled devices can be remarkably arbitrary, such methodical testing is a far more efficient way to evaluate device performance than simply putting it into the OR environment for a few weeks, hoping that problems will be detected before purchase. This type of dynamic testing takes time and money. Anaesthetists would be better served if hospitals coordinated capital acquisitions so that the costs of such assessments can be justified. As hospitals continue to amalgamate within regions such organized testing should become more practical.

System improvements present another way to reduce human-machine errors. Anaesthetic rotas that produce frequent and short night shifts contribute to human-machine interface errors. Better scheduling of cases, use of anaesthesia technicians, and appropriate breaks, are just some system improvements that will enhance our vigilance.

The third way to improve interaction with anaesthesia equipment is in focussing educational efforts.^{3,4} The detailed ergonomic testing as outlined can also define deficiencies of existing equipment in the OR. From such an analysis, a questionnaire can be devised that all users can employ to test their own assumptions about device performance. This can supplement the usually unread and frequently unavailable technical

manuals. That is, the non-intuitive aspects of a machine's performance can be highlighted. Second, as part of a quality assurance programme, critical incident reports (single pages kept in each OR) can provide a way to document near-misses and equipment misuse. The equipment deficiencies can be discussed at departmental rounds. When appropriate, such reports can be forwarded to the Medical Devices Branch of Health Canada (1-800-267-9675). The biweekly publication "Medical Device Alerts" from the Emergency Case Research Institute is available in most hospitals. Relevant abstracts can be distributed on a regular basis. Biomedical engineers should be involved in regular departmental rounds as well as in resident education. Anaesthesia simulators will find an increasing role in improving our equipment competency. In the final analysis, curiosity about how technology works will be our best defense against man-machine errors.

Finally, at the industry and international level, there are continuing efforts to regulate good ergonomic design. The International Standards Organization has done much to "harmonize" alarms similar to the process used in the airline industry. Integration of monitors and devices by a common method for input and output of digital signals (the Medical Information Bus) has been delayed but not stopped by competitive forces. Alarm integration and information flow between devices to allow effective record-keeping are rapidly evolving and if done properly, will reduce human-machine errors.

The report by Tong, *et al.* of what may seem to a casual reader as a simple equipment mis-use should serve as an example of how we can all do more to improve our technical competency to improve patient safety. Basic curiosity, a good departmental system of technical education, rigorous device testing, system improvements and closer ties to the engineering and industry communities are all needed to maintain the safety and quality of anaesthesia.

Le progrès technologique en anesthésie : à la fois bienfait et nuisance ?

L'article de Tong *et al.* publié ce mois-ci, démontre comment, pendant une anesthésie exclusivement intraveineuse, un pousse-seringue mal monté a pu provoquer le rappel d'un événement peropératoire.

Les auteurs présentent un compte rendu honnête et une analyse lucide d'une situation trop fréquente.¹ En lisant cette observation, certains de nos lecteurs concluront qu'il nous faudrait un moniteur fiable capable de mesurer la profondeur de l'anesthésie. Cependant, cet article nous donne l'occasion de nous rappeler que l'environnement anesthésique est complexe et que chacune des ressources que nous utilisons est techniquement très sophistiquée. Avec l'abondance des moyens techniques dont nous disposons, maintenir notre compétence relève du défi. Quand on ne connaît pas le fonctionnement interne d'un appareil, il devient une boîte à surprise. Nous nous permettons de parler du rendement d'un appareil avant même de savoir comment il fonctionne. La performance d'un dispositif implique un cheminement comportemental au cours duquel une action (presser un bouton par exemple) déclenche une réaction ou une réponse de l'appareil. Ainsi, on construit graduellement un modèle mental basé sur la performance du fonctionnement d'un appareil. Ceci constitue une façon approximative, inefficace et risquée d'acquérir une habileté technique. D'autre part, en anesthésie, la vraie compétence technologique comme la compétence clinique s'acquiert avec le temps et les efforts. La compétence technologique nous permet de développer des stratégies efficaces qui nous permettent de faire face non seulement aux pannes évidentes mais aussi aux pannes plus subtiles et beaucoup plus courantes qui surviennent entre l'interface qui attache l'anesthésiste à son appareil. Pour atteindre cet objectif, il nous faut compter sur le design, l'efficacité des systèmes et la formation.

Le poste de travail de l'anesthésiste a été revu par des psychologues et des ingénieurs en tenant compte des principes de l'ergonomie. L'ergonomie – étude des relations entre l'homme et la machine – est en rapport étroit avec la sécurité anesthésique. Celle-ci a fait des progrès grâce à l'amélioration des moniteurs d'oxygénation et de ventilation, des agents pharmacologiques et grâce à une évaluation physiopathologique mieux adaptée au risque. D'autre part, la présence même en plus grand nombre de moniteurs et d'appareils destinés au contrôle d'agents puissants et agissant plus rapidement augmente la complexité de la surveillance et l'éventualité des défaillances en salle d'opération. Par exemple, pendant des périodes d'activités très intenses, il nous arrive d'avoir à remettre à plus tard la solution d'un problème mineur laquelle sera différée ou même laissée involontairement de côté. Il se peut que, pendant des périodes de travail excessif, on n'ait pas le temps d'enregistrer soigneuse-

ment des événements essentiels au pronostic et qui, par le fait même, passeront inaperçus. D'autre part, les heures de stabilité prolongées nécessitent un effort mental souvent insuffisant pour maintenir une vigilance optimale. La disposition géographique des moniteurs peut limiter l'efficacité de la surveillance. Si elles sont trop souvent erratiques, certaines alarmes peuvent être éteintes soit parce que l'échelle de normalité est trop étroite ou que les délais d'activation sont inadéquats. Pendant les périodes d'activité fébrile, il arrive aussi qu'on inactive plusieurs alarmes indépendantes parce qu'elles nuisent à notre concentration.

Pour comprendre les solutions envisagées, il est bon de connaître la terminologie de l'ergonomie. En terme d'ingénierie humaine, en salle d'opération, on surveille des affichages *réels* et des affichages *artificiels*. L'affichage *réel* est ce que l'anesthésiste perçoit (avec ses sens) du patient, du chirurgien, du personnel auxiliaire et de l'appareillage. L'affichage *artificiel* exige l'interposition d'un dispositif physique (un senseur biologique comme l'oxymètre de pouls) entre le paramètre biologique et l'information offerte à l'anesthésiste (en terme ergonomique, le moniteur-contrôleur). L'anesthésiste perfectionne sa fonction de surveillance de plusieurs façons. D'abord, idéalement, l'anesthésiste devrait participer à la conception de la salle d'opération. Ensuite, en tenant compte de la nature de l'intervention, il dispose son appareil d'anesthésie et ses moniteurs de façon à obtenir une vue non obstruée des étalages *réels* et *artificiels*. Dans le sens ergonomique, une aire de travail bien ordonnée, l'absence d'enchevêtrement de câbles électriques et de bruits superflus constituent des facteurs qui appellent au calme et favorisent l'activité mentale : ainsi, la surveillance et la sécurité du patient s'en trouvent renforcés.

Autrefois, l'anesthésiste avait peu de contrôle sur les affichages *artificiels*. L'ingénieur qui conçoit un senseur biomédical doit oeuvrer dans un marché où il doit faire un choix entre le coût et l'ergonomie du design. La montre numérique que plusieurs portent au poignet est un exemple de la contrainte financière que subit l'interface entre l'homme et la machine. L'ingénieur doit comprimer un certain nombre de paramètres (l'heure, la date, le changement horaire, etc) dans un dispositif possédant peu de boutons et une surface d'affichage très limitée. Ce qui pour l'ingénieur représente une solution élégante et efficace constitue pour l'utilisateur une source de confusion étant donné que les boutons changent de fonctions avec le mode d'opération. C'est pour cette raison que

les montres numériques perdent leur attrait quand vient le moment de passer de l'heure normale à l'heure avancée. On peut toujours ajouter un micro-processeur à un appareil déjà éprouvé dans le but d'optimiser l'interaction homme-machine. Toutefois, même si cette mise à niveau remplace un nouveau design plus coûteux, elle peut rendre le modèle original plus difficile à utiliser qu'il ne l'était. Des organismes comme la *Society for Technology in Anesthesia* et *Anesthesia Patient Safety Foundation* de l'*American Society of Anesthesiologists* prônent l'accroissement des échanges sur leurs domaines respectifs entre les ingénieurs et les anesthésistes. De cette coopération accrue, il résultera une meilleure conception des affichages *artificiels* et une manipulation plus conforme des appareils et des moniteurs d'anesthésie.

Il est difficile de réaliser un design ergonomique. L'*Association for the Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI) en a publié les critères. L'application de ces directives à des appareils spécifiques peut identifier les défauts de l'appareil. Il est préférable d'entreprendre une analyse dynamique au cours de laquelle l'anesthésiste réagit devant un appareil réglé successivement selon tous ses modes d'opérations.² Avec l'assistance d'un ingénieur biomédical, on introduit volontairement des erreurs et on évalue leur interaction avec l'utilisateur. Comme les appareils contrôlés par des microprocesseurs peuvent fonctionner de façon irrégulière, ce type de vérification méthodique est une façon beaucoup plus efficace d'évaluer la performance d'un appareil que ne l'est la mise en fonction d'un appareil dans un environnement de salle d'opération pour quelques semaines avec l'espoir que les problèmes seront détectés avant la mise en marché. Ce type d'expérimentation dynamique nécessite du temps et de l'argent. Les anesthésistes auraient avantage à ce que les hôpitaux coordonnent leurs investissements de façon à justifier le coût de l'expérimentation. Grâce à la régionalisation, ce type d'expérimentation systématique devrait être plus facile à appliquer.

Les améliorations du mode d'exercice sont une autre façon de réduire les erreurs humaines et matérielles. La rotation des anesthésistes qui favorise les mutations fréquentes et de courte durée contribuent aux faiblesses de l'interface homme-machine. Une meilleure programmation des interventions, l'utilisation de techniciens en anesthésie et des pauses mieux adaptées représentent quelques-unes des améliorations qui permettront d'accroître notre vigilance.

La troisième manière d'améliorer l'interdépendance avec l'appareillage anesthésique est de mettre l'accent sur l'enseignement.^{2,4} Tel qu'énoncée, l'ex-

périmentation ergonomique peut cibler les défauts de l'équipement en usage en salle d'opération. À partir de cette analyse, il est possible d'élaborer un questionnaire adapté à tous les usagers dans le but de vérifier leur impression personnelle sur la performance d'un appareil. Ceci peut remplacer les manuels techniques qui, en général, ne sont pas consultés et qui ne sont pas toujours disponibles. Les aspects non intuitifs de la performance d'un appareil peuvent être alors mis en évidence. Deuxièmement, comme ils font partie des éléments du programme d'assurance-qualité, les rapports d'incidents graves (sur des formulaires destinés à cette fin et disponibles dans chacune des salles d'opération) peuvent fournir le moyen de documenter les situations quasi catastrophiques et l'utilisation incorrecte des appareils. Lorsqu'ils sont pertinents, ces rapports sont transmis à la division des instruments médicaux de Santé Canada (1-800-267-9697). La publication bihebdomadaire *Medical Devices Alert* du *Medical Emergency Case Research Institute* est disponible dans la plupart des hôpitaux. Ses résumés devraient être distribués régulièrement. Les ingénieurs biomédicaux devraient assister aux réunions régulières des départements et s'impliquer dans l'enseignement postdoctoral. À l'avenir, les simulateurs d'anesthésie joueront un rôle plus important dans l'amélioration de la compétence technique. Enfin, en nous intéressant d'avantage au fonctionnement de notre équipement, nous bâtissons une barrière plus étanche contre les erreurs humaines dont il est en partie responsable.

Finalement, comme pour l'industrie aéronautique, l'*International Standard Organization* a fait beaucoup pour coordonner le mécanisme des alarmes. L'intégration à un système universel des moniteurs et autres dispositifs des signaux numériques d'entrée et de sortie (*Medical Information Bus*) a été retardée par la compétitivité mais non stoppée. L'intégration des alarmes et du débit de données entre les appareils d'enregistrement vers un dossier informatisé évolue rapidement et, si elle est faite comme il faut, elle réduira les erreurs humaines associées aux appareils.

L'observation de Tong *et al.* d'un événement qui pourrait paraître au profane comme une utilisation fautive de l'équipement, devrait servir d'exemple de ce que nous pouvons tous faire pour améliorer notre compétence à l'avantage du patient. Une curiosité bien dirigée, un bon système départemental de formation, la vérification rigoureuse des appareils, l'amélioration du mode d'exercice et des liens plus étroits avec les ingénieurs et les manufacturiers sont tous requis pour le maintien de la sécurité et de la qualité en anesthésie.

References

- 1 Recall after total intravenous anaesthesia due to equipment mis-use. *Can J Anaesth* 1996; 43: 73-77.
- 2 Cook RI, Potter SS, Woods DD, McDonald JS. Evaluating the human engineering of microprocessor-controlled operating room devices. *J Clin Monit* 1991; 7: 217-26.
- 3 Gravenstein JS, Larkin CR Jr. Equipment competency – we might have a problem (Editorial). *J Clin Monit* 1994; 10: 1-3.
- 4 Kitz RJ. STA distinguished lecture. Can technology education during medical school make better doctors. *J Clin Monit* 1992; 8: 243-9.