Editorial

The Virtual AnesthesiologyTM Training Simulation System

D. John Doyle MD PhD FRCPC,
Ramiro Arellano MD FRCPC

Computer simulations are valuable in training, especially in aviation, where flight simulation can be used to study pilot response to simulated crises (such as an engine fire). Similarly, in anaesthesia, computer simulations are potentially useful for training anaesthetists and quality assessment programmes.^{1,2} Crisis simulation offers a "safe" environment to study individuals' responses to anaesthetic errors, equipment failure,³ critical incidences^{4,5} and other unplanned incidents.⁶ Adherence to practice standards and guidelines⁷⁻⁹ can be studied during simulated crises, as has been done by Schwid *et al.*^{10,11}

The Virtual AnesthesiologyTM Training Simulation System, produced by CAE-Link Corporation, Binghamton, NY, USA, overcomes many of the problems of earlier designs. It was conceived to train anaesthesia residents, for practice with new technology or instruments, for rehearsing anaesthetic emergencies, and possibly for future testing, certification, or recertification of anaesthetists. It is also of potential use outside the operating room, in such situations as Critical Care Training, Emergency Room Training, Advanced Cardiac Life Support Training, and the training of physicians or nurses with new monitoring equipment.

We acquired a prototype form of simulation technology from Dr. Gaba and Dr. Williams of Stanford University, with contributions (mostly pharmacokinetic and pharmacodynamic models) from Dr. Schwid of the University of Washington. The system is composed of a mannikin, associated attachments and computer hardware and software to drive human-like behaviour by the mannikin and to simulate various anaesthetic catastrophes.

Key words

EDUCATION: resident;

EQUIPMENT: simulator, anaesthesia.

From the Department of Anaesthesia, The Toronto Hospital, 200 Elizabeth Street, Toronto, Ontario M5G 2C4.

Accepted for publication 1st December, 1994.

The mannikin includes an anatomically correct head and neck assembly which allows the trainee to intubate the larynx. The lungs can breath spontaneously or passively by hand or mechanical ventilation. Anatomically located loudspeakers in the chest provide heart sounds and breath sounds that can be detected in the usual chest locations with a stethoscope. Servo-controllable lungs "produce" carbon dioxide using a computer-controlled gas metering system. The airway anatomy is such that endobronchial or oesophageal intubation is possible. Palpable pulses at the carotid artery and radial artery are also present using real-time simulation. Sites in the mannikin's arm into which intravenous lines can be inserted and drugs infused also exist, although no means to determine automatically what drug or dose was given exists. A simulated twitch response in one of the mannikin's thumbs can be used for the assessment of neuromuscular blockade.

The mannikin interfaces with anaesthesia machines, respiratory gas analysis devices (capnograph, agent analyzer), pulse oximeters, and other patient monitoring equipment. It is intended to drive all commercially available monitors without modifying setups used in routine clinical care. In all, the following outputs are provided: ECG, arterial pressure, central venous pressure, pulmonary artery pressure, temperature, and pulse oximetry (both waveform and percent saturation). As well, radial and carotid pulses, as well as non-invasive blood pressure measurements, are available using computer-controlled hydraulics.

From a technical viewpoint the system is an instrumented mannikin driven by a high-speed high-performance Unix-based computational platform (Sun Workstation plus custom microcomputers). Computer equipment used to control the mannikin and provide simulations includes a 68040 microprocessor to handle I/O (input/output) procedures and a Sun SPARC station for scenario control and display of clinical data. The heart of the system is the Sun Workstation, which has a graphic user interface for the operator (who introduces "events"

such as anaphylaxis or aspiration) and a complex software package for the following purposes:

- pharmacokinetic modelling
- pharmacodynamic modelling
- cardiac performance modelling
- pulmonary gas exchange modelling
- modelling of fluids and electrolytes
- acid/base modelling
- interfacing to external hardware

The computational models are based on efforts at laboratories across the USA and represent the integration of the best modelling information from a variety of sources. The software incorporates mathematical models or equations which simulate physiological responses of healthy patients or those with underlying cardiovascular or respiratory diseases. These models feed information into the clinical anaesthesia monitors for display to the clinician. The software is written in "C".

Many simulated events can be introduced by the operator including:

- anaphylaxis
- aspiration
- haemorrhage
- coronary constriction
- vagally-mediated bradycardia

In the respiratory system, events such as pneumothorax, endobronchial intubation, bronchospasm, oesophageal intubation and the use of hypoxic gas mixtures can be simulated, with appropriate changes being made on the monitor (e.g., desaturation, hypotension). Cardiovascular events include anaphylaxis, cardiac arrest, hypotension, hypertension, ST segment changes in the electrocardiogram etc. Metabolic events handled include acidosis, diabetic ketoacidosis, hyperkalaemia, hypokalaemia, malignant hyperthermia, and transfusion reactions. In addition there are drug effect models which simulate the effects of about 70 intravenous medications on the cardiovascular or pulmonary system. For example, in response to an induction dose of thiopentone, the mannikin will cease to breathe spontaneously and blood pressure and heart rate will change according to the patient's preoperative haemodynamic status and volume.

The simulation is managed by one or more operators/instructors who sit at a distance from the simulated operating room so as not to interfere with the trainee (Figure). The operator controls a computer console by way of a mouse on a high-resolution colour display system. He/she is able to activate the anaesthetic disaster simulations, and enter information concerning drug administration, vaporizer settings, fluid administration, ordered tests etc. as indicated verbally by the trainee. As this information is fed into the computer software, suitable responses are provided to the trainee by changes in re-

sponse from the mannikin and from the anaesthetic monitors.

During operation of the simulator the trainee is presented with a clinical scenario that he/she will manage as in a clinical environment. The trainee is expected to identify and administer medications, intravenous fluids, or alter ventilatory settings as in real life. Feedback provided through simulation mimics the response and allows the trainee to alter his/her management. For example, the system responds directly to changes in ventilatory settings.

On a visit to the CAE-Link Corporation in Binghamton NY, we were able to obtain practical experience with the simulator. The system we saw represented work-in-progress, as not all events were implemented and there were some problems (since corrected) getting the CO₂ metering system to work. Pharmacokinetic/pharmacodynamic models for about 70 drugs were in place. Occasional absences were noted, the system could only handle nitroglycerine infusions, not boluses.

We tried out the system with two scenarios: myocardial infarction and anaphylaxis. In both simulations one of us acted as a trainee and the other as the operator/instructor. Both scenarios appeared to be realistic. The response of blood pressure and heart rate as indicated during simulations of anaphylaxis in intraoperative myocardial infarction were "totally believable," in fact disturbingly like a real anaphylactic reaction to latex experienced by the first author.

We found the mannikin to be suitably life-like to mimic a human adequately. Specifically, intubation of the mannikin was remarkably similar to "an easy intubation in a human." We were able to observe the chest rise and fall with the mannikin during spontaneous breathing and during positive-pressure ventilation. Breath sounds and chest compliance when ventilation was by hand were also similar to that experienced with humans.

We found the system to be remarkably easy to learn and use. Without instruction we were able to simulate two anaesthetic catastrophes, administer medications, obtain feedback information concerning blood gas and metabolic status etc as part of the simulations. The software was flexible enough that one could alter the speed of onset and extent of such simulations as myocardial infarction. This made the simulation more realistic.

Several important limitations exist. First, it is complex, indeed more complex than many flight simulators, so that while the system is easy to operate, training is still needed. As with any computer simulator, complexity also translates into cost (US \$185,000), the need for periodic software upgrades (as "bugs" are detected and new features are added), and ongoing maintenance for both the electronic and hydraulic subsystems. Also, at least 100-200

FIGURE Photographs of the system in operation showing both the mannequin (left) and the operator's console (right). (Courtesy of CAE-Link Corporation).

FIGURE Photographie du système en opération montrant le mannequin (à gauche) et la console de l'opérateur (à droite). (Gracieuseté de CAE-Link Corporation).

square feet of workspace is needed to carry out the simulations without being cramped. This means that full use of the system's potential as a training tool requires considerable resources both at the time of setup, as well as on an on-going basis. Finally, as mentioned, the unit we studied was incomplete.

Simulation methods have proved to be useful in training for a number of different fields. However, until recently, the use of simulation in anaesthesia training has been quite limited as the technological framework of hardware and software needed to make this goal realizable was not available. Now, the Virtual Anesthesiology™ Training System provides an important step in providing a safe but realistic training for intraoperative crisis management. While the system involves a complex assembly of hardware and software, it is nonetheless easy to use, requiring at most several hours of instruction for the clinician to master.

Alternative approaches to training involve a combi-

nation of clinical experience with difficult cases, verbal discussions dealing with particular scenarios, study of audio-visual material, and other strategies such as more limited anaesthetic simulations.¹¹ In our view, all can be helpful in their place, but the Virtual Anesthesiology™ Training System deserves a special place as a method of clinical training because it is so realistic. Of course, genuine anaesthetic crises may be even more realistic, but they cannot generally be predicted to occur nor can they be easily subjected to detailed scrutiny and consequently are of limited value for training.

There is no doubt in our minds, that such a system would have a clear role in residency training, not only in anaesthesia, but in other fields as well (e.g., critical care medicine, emergency medicine, cardiology, etc). Just as many anaesthesia training programs have a periodic in-training oral examination, they could similarly have a periodic review using simulated anaesthetic crises. Indeed, we expect that this will eventually become the norm.

Appendix

Synopsis of system capabilities

(adapted from CAE-Link documentation, with permission)

(A) *Anatomy and physiology*

Receives positive-pressure ventilation
Performs spontaneous respiration
Anatomically correct airway, allowing intubation
Can simulate bronchospasm and unilateral ventilation
Carbon dioxide production under computer linkage
Drugs can be injected into the mannikin, but are not automatically "sensed"

(B) *Signals produced*

Electrocardiogram
Capnogram
Noninvasive BP
Invasive pressures
– arterial line
– CVP
– PA pressure
Pulse oximeter signal
Cardiac output
Temperature

(C) *Drug modelling*

Models for most real-world anaesthetic drugs:
– pharmacokinetic (concentration vs time)
– pharmacodynamic (effect vs concentration)
Bolus or infusion methods of administration
Side effects considered in the models

(D) *Clinical signs*

Normal breath sounds
Unilateral breath sounds
Heart Sounds
Palpable carotid and radial pulses
Patient temperature (electronic)
Thumb twitch from nerve stimulator

(E) *Cardiovascular event simulation*

Anaphylaxis
Sinus bradycardia
Cardiac arrest
Hypovolaemia
Myocardial infarction
Pericardial tamponade
ST segment changes
Supraventricular tachycardia
Venous air embolism
Ventricular arrhythmias

(F) *Pulmonary event simulation*

Endobronchial intubation
Oesophageal intubation
Pneumothorax
Pulmonary oedema
Pulmonary embolism
Bronchospasm
Hypoxaemia

(G) *Metabolic event simulation*

Respiratory acidosis
Metabolic acidosis
Malignant hyperthermia reaction
Hypoglycemia
Addisonian crisis
Transfusion reaction

L'apprentissage par l'anesthésie virtuelle

En pédagogie, la simulation par ordinateur offre plusieurs avantages. Par exemple, pendant la formation des pilotes d'avion, la simulation permet d'étudier les réactions du pilote confronté à des catastrophes simulées comme un incendie à bord. En anesthésie, la simulation informatisée offre le même potentiel pour la formation des anesthésistes et pour les programmes d'évaluation de la qualité.^{1,2} La simulation d'une situation catastrophique procure sans aucun risque un milieu favorable à l'étude des réponses individuelles aux erreurs anesthésiques,³ aux défaillances de l'équipement^{4,5} ou d'autres événements imprévus.⁶ Au cours d'urgences simulées on peut évaluer la concordance avec les normes et directives d'exercice,⁷⁻⁹ comme Schwid *et al.* l'ont fait.^{10,11}

Le dispositif de simulation Virtual Anesthesiology[®] fabriqué par CAE-Link Corporation, Binghamton, NY, USA corrige plusieurs des problèmes propres aux modèles antérieurs. Il a été conçu pour la formation des résidents en anesthésie, pour l'apprentissage des nouvelles technologies, pour la pratique de situations d'urgence, et pour devenir éventuellement un outil destiné à l'évaluation itérative, à la certification et à la recertification des anesthésistes. Cet appareil pourrait de plus être utilisé hors du contexte « salle d'opération », pour la formation en soins intensifs, en urgentologie, en réanimation et pour familiariser les médecins et infirmières avec les nouveaux moniteurs.

Nous avons fait l'acquisition d'un prototype de simulateur Virtual AnesthesiologyTM développé par les Drs Gaba et Williams de l'université Stanford avec la contribution du Dr Schwid de l'université de Washington pour les modules pharmacocinétique et pharmacologique. Ce système est composé d'un mannequin avec accessoires, ainsi que du matériel informatique et du logiciel nécessaires pour procurer un comportement humanoïde au mannequin en face catastrophes anesthésiques variées. L'assemblage de la tête et du cou est conforme à l'anatomie et permet aux étudiants d'intuber le larynx. Les poumons respirent spontanément ou passivement sous contrôle manuel ou mécanique. Des haut-parleurs situés dans le thorax produisent des bruits cardiaques et respiratoires qu'on peut entendre par l'auscultation aux sites usuels. Les poumons servocontrôlés produisent du gaz carbonique grâce à un système de titrage contrôlé par ordinateur. L'anatomie des voies aériennes supporte l'intubation endobronchique et oesophagienne. Grâce à la simulation en temps réel, le pouls radial et carotidien sont palpables. Bien qu'il soit impossible d'identifier une drogue et sa dose, le bras est pourvu de sites pour abords veineux de solutés et de médicaments. Un twitch simulé peut être observé sur le pouce gauche pour l'évaluation de la curarisation.

Grâce à ses interfaces, le mannequin est relié à l'appareil d'anesthésie, aux analyseurs de gaz respiratoires (capnographe, analyseur de gaz inspiré) et à d'autres moniteurs. Le modèle est prêt à recevoir tous les moniteurs commercialisés sans modification des paramètres utilisés en clinique. Les sorties suivantes sont fournies: ECG, pression artérielle, tension veineuse centrale, pression artérielle pulmonaire, température et oxymétrie pulsée (forme d'onde et saturation). Sont aussi disponibles grâce au système hydraulique sous contrôle de l'ordinateur, le pouls radial et carotidien et la mesure de la pression artérielle non effractive.

Du point de vue technique, le système est constitué d'un mannequin mécanisé contrôlé par une plate-forme de calcul à haute vitesse et haute performance Unix (station de travail Sun avec micro-ordinateurs adaptés). Le système d'ordinateur utilisé pour contrôler le mannequin et produire la simulation comprend un microprocesseur 68040 pour les procédures d'entrée/sortie (I/O) et une station Sun SPARC pour contrôler le scénario et afficher les données cliniques. Le cœur du système est constitué d'une station de travail Sun, qui possède une interface d'utilisateur graphique pour l'opérateur qui introduit les événements tels que l'anaphylaxie et l'aspiration et un progiciel complexe qui permet la création de programmes:

- de pharmacocynétique
- de pharmacodynamique

- de performance cardiaque
- d'échanges respiratoires
- de liquides et d'électrolytes
- d'équilibre acidobasique
- d'interface avec du matériel informatique externe

Les modèles de calculs sont basés sur des données de laboratoires américains et sont le fruit de l'intégration des meilleures réalisations de logiciels obtenues de plusieurs sources. Le logiciel associe des modèles mathématiques et des équations qui simulent les réactions physiologiques de patients bien portants ou de patients atteints de maladies cardiovasculaires ou respiratoires. Ces modèles fournissent les données aux moniteurs qui les affichent aux cliniciens. Le logiciel est écrit en langage C.

L'opérateur peut introduire le type de situations simulées suivantes:

- l'anaphylaxie
- l'aspiration
- l'hémorragie
- la vasoconstriction coronaire
- la bradycardie d'origine vagale

Au regard du système respiratoire, on peut simuler un pneumothorax, une intubation endobronchique, un bronchospasme, une intubation oesophagienne et l'inhalation de mélanges gazeux hypoxiques avec les répercussions appropriées que le moniteur affiche (par ex., la désaturation, l'hypotension); sur le plan cardiovasculaire, on rencontre l'anaphylaxie, l'arrêt cardiaque, l'hypotension, l'hypertension, les altérations du segment ST à l'ECG; sur le plan métabolique, on retrouve l'acidose, la cétoacidose diabétique, l'hyperkaliémie, l'hypokaliémie, l'hyperthermie maligne et les réactions transfusionnelles. De plus, le mannequin simule les effets pharmacologiques de 70 médicaments *iv* sur les systèmes cardiovasculaires et respiratoires. Par exemple, après l'induction au thio-pentone, le mannequin cesse de respirer spontanément et la pression artérielle et la fréquence cardiaque changent selon l'état hémodynamique et la volémie préopératoire.

La simulation est gérée par un ou plusieurs opérateurs/instructeurs situés en dehors de la salle d'opération simulée pour éviter d'influencer l'élève (Figure). L'élève mis en face d'une situation à potentiel catastrophique peut introduire des renseignements sur l'administration des agents, le réglage du vaporisateur, l'administration des solutés, la prescription d'épreuves de laboratoire, etc. A mesure que ces renseignements sont fournis au logiciel de l'ordinateur, les réponses appropriées se manifestent sur le mannequin et sur le moniteur.

Pendant l'intervention, on introduit un scénario que l'étudiant doit gérer comme dans la réalité. On s'attend à ce qu'il identifie et administre les médicaments, les liquides intraveineux et modifie les paramètres ventila-

toires. La rétroaction procurée par la simulation imite les réactions habituelles et permet à l'élève de modifier sa ligne de conduite. Par ex., le mannequin réagit directement aux changements de réglage du ventilateur.

Lors d'une visite chez CAE-Link Corporation de Binghamton NY, nous avons expérimenté avec le simulateur. Le système était en phase de développement, certaines simulations n'étaient pas encore intégrées et le système de titrage du CO₂ ne fonctionnait pas. Les modèles pharmacocinétiques et pharmacologiques pour environ 70 drogues étaient fonctionnels mais avec des déficiences occasionnelles, par ex., le système ne pouvait manipuler la perfusions de nitroglycérine mais non le bolus.

Nous avons fait des essais avec deux scénarios: l'infarctus du myocarde et l'anaphylaxie. Pour ces essais, un de nous a pris la place de l'élève, l'autre celle de l'instructeur. Les deux scénarios représentaient la réalité. La réponse de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque pendant l'anaphylaxie simulée pendant un infarctus du myocarde peropératoire était tout à fait plausible, en vérité une imitation réaliste de l'expérience désagréable vécue par l'auteur principal qui est allergique au latex.

Nous avons trouvé le mannequin assez réaliste pour limiter l'humain de façon appropriée. Plus spécifiquement, l'intubation offrait une similitude remarquable à une intubation facile chez l'humain. Nous avons pu observer l'expansion de la cage thoracique et son affaissement pendant la respiration spontanée et mécanique. Avec la ventilation manuelle, le murmure vésiculaire et la compliance thoracique étaient identiques à ceux de l'humain.

Le système est très facile à maîtriser. Sans instruction préalable, nous avons réussi à simuler deux catastrophes anesthésiques, obtenir de l'information sur les gaz sanguins et l'équilibre acidobasique. Le logiciel était assez flexible pour changer la vitesse d'apparition et l'étendue d'une complication comme l'infarctus du myocarde, ce qui rend la simulation encore plus réaliste.

Ce système a toutefois ses limites. D'abord, il est complexe, et, on réalité, encore plus complexe que certains simulateurs de vol, de sorte que malgré sa facilité d'opération, il faut d'abord y être formé. Cette complexité, comme pour tous les simulateurs, se traduit par un coût d'achat élevé (185 000\$ US), le besoin de mises à jour périodiques (à mesure que des bogues sont décelés et que de nouvelles caractéristiques sont ajoutées) et l'entretien continu des sous-systèmes électroniques et hydrauliques. Pour pouvoir réaliser les simulations sans être à l'étroit, un espace de 100-200 pieds carrés est nécessaire. Ceci signifie que pour utiliser tout le potentiel du système comme outil de formation, des ressources considérables sont requises autant au moment de la mise marche que

pour son fonctionnement quotidien. Enfin, le modèle que nous avons étudié était incomplet.

Il a déjà été prouvé que la formation par la simulation était utile dans un grand nombre de disciplines. Cependant, en anesthésie, jusqu'à tout récemment, cette utilisation avait été limitée parce que le cadre technologique du matériel informatique et du logiciel n'était pas disponible. Maintenant le Virtual Anesthesiology Training System représente un progrès important pour la recherche d'une méthode réaliste d'apprentissage de la gestion des urgences peropératoires. Bien que le système nécessite un assemblage compliqué de matériel et de logiciels, il est néanmoins facile à utiliser et peut être maîtrisé après quelques heures d'enseignement.

Pour la formation, l'alternative réside dans une association d'expérience clinique avec des cas difficiles, de discussions portant sur des scénarios particuliers, de matériel audiovisuel et d'autres stratégies comme des simulations moins élaborées.¹¹ A notre point de vue, chaque méthode a sa place, mais le système de formation par la méthode virtuelle mérite, grâce à son réalisme, une position spéciale dans la gamme des méthodes d'enseignement clinique. Il est évident que les vraies urgences anesthésiques peuvent être encore plus réalistes, mais il est impossible de prédire quand elles surviendront et de plus, comme elles échappent souvent à l'analyse, leur valeur pour la formation est très limitée.

Pour nous, il ne fait aucun doute que ce type de système aurait un rôle à jouer non seulement pendant la résidence en anesthésie, mais aussi dans d'autres domaines (par ex., en soins intensifs, en médecine d'urgence, en cardiologie, etc.). Dans le même esprit des examens périodiques oraux en cours de formation, les résidents en anesthésie pourraient subir un test périodique sur des urgences simulées. En réalité, nous prévoyons que cela deviendra éventuellement la règle.

Appendice

Résumé des capacités du système

(Adapté de la documentation fournie et avec la permission de CAE-Link)

(A) *Anatomie et physiologie*

Compatible la ventilation mécanique

Respiration spontanée

Anatomie des voies aériennes exacte, intubation possible

Peut simuler un bronchospasme et la ventilation unilatérale

Production de gaz carbonique couplée à l'ordinateur

Les drogues peuvent être administrées au mannequin mais ne sont pas reconnues automatiquement

- (B) *Signaux émis*
 Electrocardiogramme
 Capnogramme
 PA non effractive
 Pressions effractives
 – Abord artériel
 – TVC
 – Pression de l'artère pulmonaire
 Oxymétrie pulsée
 Débit cardiaque
 Température
- (C) *Modèles de programmation pour les drogues*
 Modèles pour la plupart des drogues anesthésiques en usage
 – pharmacocinétique (concentration/temps)
 – pharmacodynamique (effet/concentration)
 Administration par bolus ou perfusion
 Effets secondaires
- (D) *Signe cliniques*
 Murmure vésiculaire
 Murmure vésiculaire unilatéral
 Bruits cardiaques
 Pouls carotidien et radial palpables
 Température (électronique)
 Twitch du pouce déclenché par le stimulateur
- (E) *Simulation d'événements cardiovasculaires*
 Anaphylaxie
 Bradycardie sinusale
 Arrêt cardiaque
 Hypovolémie
 Infarctus du myocarde
 Tamponade cardiaque
 Altérations du segment ST
 Tachycardie supraventriculaire
 Embolie gazeuse
 Arythmies ventriculaires
- (F) *Simulation d'événements respiratoires*
 Intubation endobronchique
 Intubation oesophagienne
 Pneumothorax
 Oedème pulmonaire
 Bronchospasme
 Hypoxémie
- (G) *Simulation d'événements métaboliques*
 Acidose respiratoire
 Acidose métabolique
 Hyperthermie maligne
 Hypoglycémie

Crise addisonnienne
 Réaction transfusionnelle

References

- 1 Good ML, Gravenstein JS. Anesthesia simulators and training devices. *Int Anesthesiol Clin* 1989; 27: 161-8.
- 2 Gaba DM, DeAnda A. A comprehensive anesthesia simulation environment: recreating the operating room for research and training. *Anesthesiology* 1988; 69: 387-94.
- 3 Cooper JB, Newbower RS, Kitz RJ. An analysis of major errors and equipment failures in anesthesia management: considerations for prevention and detection. *Anesthesiology* 1984; 60: 34-42.
- 4 Gaba DM, DeAnda A. The response of anesthesia trainees to simulated critical incidents. *Anesth Analg* 1989; 68: 444-51.
- 5 DeAnda A, Gaba DM. Role of experience in the response to simulated critical incidents. *Anesth Analg* 1991; 72: 308-15.
- 6 DeAnda A, Gaba DM. Unplanned incidents during comprehensive anesthesia simulation. *Anesth Analg* 1990; 71: 77-82.
- 7 Grauer K, Cavallaro D. *ACLS Pocket Reference. An Approach to the Key Algorithms for Cardiopulmonary Resuscitation*. St. Louis: Mosby 1993.
- 8 *American Society of Anesthesiologists Taskforce on Management of the Difficult Airway*. Practice guidelines for management of the difficult airway. *Anesthesiology* 1993; 78: 597-602.
- 9 *American Society of Anesthesiologists Taskforce on Pulmonary Artery Catheters*. Practice Guidelines for pulmonary artery catheterization. *Anesthesiology* 1993; 78: 380-94.
- 10 Schwid HA, O'Donnell D. Anesthesiologists' management of simulated critical incidents. *Anesthesiology* 1992; 76: 495-501.
- 11 Schwid HA, O'Donnell D. The anesthesia simulator-recorder: a device to train and evaluate anesthesiologists' responses to critical incidents. *Anesthesiology* 1990; 72: 191-7.