

Indications de la capnographie en préhospitalier et aux urgences

F. RAYEH-PELARDY, G. RICHARD, J.-Y. LARDEUR

L'apport bénéfique de la capnographie en médecine préhospitalière est démontré que ce soit lors des procédures d'intubation, de la réanimation de l'arrêt cardiaque ou de l'optimisation de la ventilation du traumatisé crânien.

1. Capnographie en ventilation contrôlé

1.1. Vérification du bon positionnement de l'intubation endotrachéale

Les intubations endotrachéales réalisées en extrahospitalier se caractérisent par un taux de complications et une incidence d'échec plus importantes qu'en milieu intrahospitalier. En France, l'incidence de l'intubation difficile en préhospitalier varie entre 4 et 16 % (1, 2). Ce pourcentage peut augmenter jusqu'à 53 % lors de la prise en charge par des équipes non médicalisées d'une population constituée exclusivement de traumatisés (3, 4). Dans une population constituée de ces mêmes patients, le mauvais positionnement de la sonde d'intubation était observé dans 37 % des cas. L'auscultation pulmonaire méconnaît l'intubation œsophagienne dans 0,4 à 15 % des cas. L'examen clinique ne doit donc pas être la méthode de première intention lors de la vérification du bon positionnement de la sonde d'intubation. Compte tenu de la gravité de l'intubation œsopha-

Correspondance : D^r Fatima Rayeh-Pelardy, Praticien Hospitalier, Samu 86, Centre hospitalo-universitaire de la Milétrie, 86021 Poitiers cedex, France. E-mail : f.rayeh@chu-poitiers.fr
D^r Ghislain Richard, Praticien Hospitalier, Samu 86, Centre hospitalo-universitaire de la Milétrie, 86021 Poitiers cedex, France.
D^r Jean-Yves Lardeur, Praticien Hospitalier, Samu 86, Centre hospitalo-universitaire de la Milétrie, 86021 Poitiers cedex, France.

gienne non reconnu et du risque léthal à court terme, le bon positionnement doit être évalué par la capnographie. Mais malgré l'intérêt croissant de ce monitoring, celui-ci reste cependant insuffisamment utilisé : en 2002, en France, seul 53 % des smur disposait d'un capnographe, 32 % des traumatisés graves bénéficiaient de son utilisation et la capnographie était évoquée seulement une fois sur deux comme méthode standard de vérification de la position endotrachéale de la sonde d'intubation. Or l'utilisation systématique et continue de la capnographie en extrahospitalier se justifie pour des raisons de sécurité dans le cadre de la réalisation de techniques anesthésiques.

Dans la littérature, l'auscultation pulmonaire méconnaît l'intubation œsophagienne dans 0,4 à 15 % des cas suivant les séries (5). Ce pourcentage d'erreur peut atteindre 32 % si l'examineur est peu expérimenté (6). Bien plus performante que l'auscultation pulmonaire, la capnographie permet donc de limiter les risques d'erreur. La méta-analyse de Li et coll. (7), portant sur 10 études publiées entre 1991 et 1998, a évalué l'apport de la capnographie lors de procédures d'intubations en médecine d'urgence : 147 faux négatifs (sonde d'intubation en position trachéale non détecté par le capnomètre) sur un effectif de 2 192 patients étaient observés et seulement 3 faux positifs, soit une sensibilité de cette technique de 93 % et une spécificité de 97 %. En excluant les patients en arrêt circulatoire et en utilisant exclusivement des capnographe infra-rouge, la sensibilité et la spécificité avoisinent 100 % (6, 8). Aussi, la capnographie est la méthode de référence de confirmation du bon positionnement endotrachéale de la sonde d'intubation en situation d'urgence. Son utilisation systématique par les équipes de paramédicaux américaines a permis de réduire l'incidence de l'intubation œsophagienne de 25 à 0 % (9). Si les faux positifs sont rares, ils peuvent être reconnus rapidement. Il s'agit principalement de la présence de CO₂ dans l'estomac à la suite d'une ventilation au masque, la consommation d'agents carbonatés, d'antiacides, de produits effervescents, mais aussi d'une sonde d'intubation recouvrant partiellement la glotte sans la franchir. Un délai de 6 cycles ventilatoires permet classiquement de confirmer le bon positionnement de la sonde d'intubation. Les faux négatifs sont : une panne du matériel (capnographe ou respirateur), un arrêt cardiorespiratoire, une obstruction trachéale ou un bronchospasme majeur, une fuite importante autour de la sonde, une malposition de la sonde d'intubation (10). Lors d'un arrêt cardiorespiratoire, l'intérêt de la capnométrie dans la détermination du bon positionnement de la sonde d'intubation est diminué. Grmec et coll. observent 28 faux négatifs lors de l'analyse d'une série de 246 patients en arrêt cardiaque. Tous avaient cependant une valeur de P_{ET}CO₂ supérieure à 5 mmHg (11). Elle n'en reste pas moins recommandée, en association à l'auscultation et à une autre méthode de détection œsophagienne. Durant la période de pré oxygénation, le capnogramme permet de vérifier l'absence d'obstruction des voies aériennes ainsi que l'efficacité de la manœuvre grâce à l'obtention d'une courbe satisfaisante. Placé sur le filtre antibactérien pour le side stream, et entre le ballon auto-remplisseur et le filtre antibactérien (lui-même connecté au masque facial), pour le main stream. Il permet dès la réalisation de l'intubation de vérifier immédiatement son bon positionnement. Le retard diagnostique peut avoir des conséquences dramatiques. Timmermann et al.

observent sur une étude prospective incluant 149 patients une incidence d'intubation œsophagienne de 6,7 %, associé à une majoration de la mortalité dans les 24 premières heures et ce malgré un diagnostic établi sur les lieux d'intervention par un médecin (12). Dans cette même étude, l'incidence de l'intubation sélective était de 10,7 % mais la détection de l'intubation sélective ne bénéficie que partiellement de l'apport des données capnographiques : classiquement, on observe une diminution de la $P_{ET}CO_2$ ou une modification du capnogramme avec l'apparition d'un aspect biphasique mais celui-ci peut être également normal. L'auscultation permet rapidement de rétablir le diagnostic.

1.2. Surveillance du patient ventilé

Aux États-Unis, l'analyse des plaintes liées à des accidents anesthésiques démontre que, dans 93 % des cas, ces événements auraient pu être précocement détectés et prévenus par un monitoring simple, la capnographie associée à l'oxymétrie de pouls (13). L'étude australienne de Webb et coll. (14) répertoriait 1 256 incidents au cours d'anesthésie générale et incriminait une erreur humaine dans 48 % des cas. Une détection précoce par ces appareils de monitoring était réalisable dans plus de 50 % des cas. En pédiatrie, Cote et coll. aboutissent aux mêmes conclusions.

La capnographie est le seul monitoring qui permet la détection rapide et précoce de l'extubation accidentelle. La mise en jeu d'alarme indépendante du respirateur constitue une sécurité accrue lors de déconnexion du circuit, d'une panne du respirateur, d'un dysfonctionnement des valves. Elle prévient donc la survenue d'accident hypoxémique. En France, le décret du 5 décembre 1994 rappelle que dès lors que « la trachée est intubée », le patient doit bénéficier d'un monitoring « continu du CO_2 expiré » (15).

1.3. Optimisation de la ventilation

Le déterminant principal du gradient alvéolo-artériel ($Pa_{ET}CO_2$) est essentiellement l'espace mort alvéolaire. En ventilation contrôlée, chez un patient anesthésié, ce gradient est compris entre 4 et 13 mmHg. Par ailleurs, ce gradient augmente avec l'âge, la classe ASA, une pathologie pulmonaire, une baisse du débit cardiaque. L'optimisation de la ventilation nécessite le contrôle de la capnie. Or une stratégie de ventilation basée sur le poids du patient engendre une hypercapnie ou une hypocapnie profonde, observées dans la moitié des cas avec des variations extrêmes, allant de 16 à 86 mmHg de pression partielle en dioxyde de carbone ($PaCO_2$). Les situations majorant le gradient $Pa_{ET}CO_2$ sont nombreuses : hypovolémie, contusion pulmonaire ou myocardique, vasoplégie, syndrome de levée de compression, insuffisance circulatoire, embolie graisseuse, embolie pulmonaire, bronchospasme, défaillance ventilatoire aiguë ou chronique. Ce gradient est en fait éminemment variable d'un individu à l'autre et de façon non prédictible. Ajouté à cette grande variabilité interindividuelle, il existe une variabilité intra-individuelle. Cette variation intra-individuelle est décrite lors de certaines procédures chirurgicales en réanimation mais également pendant le transport des patients. La perfor-

mance limitée des respirateurs de transport peut expliquer partiellement ces résultats : la fiabilité de la spirométrie délivrée par rapport aux réglages effectué est médiocre comparé à certains respirateurs transportables de réanimation. Une autre cause pouvant expliquer ces variations extrêmes est la méthode de réglage de la ventilation. Elle est classiquement effectuée de façon empirique sur une estimation du poids du patient sans prendre en compte de l'état clinique du patient, la pathologie sous-jacente ou les besoins métaboliques. En préhospitalier, une stratégie basée sur l'état clinique du patient décrite par Helm et coll. permet d'optimiser rapidement la ventilation mécanique (16). Cette étude compare deux groupes de patients randomisés : un groupe contrôle dans lequel le réglage est fixé par l'estimation de la masse corporelle du patient (volume courant 10 ml/kg ; fréquence respiratoire fixe), le second groupe bénéficie d'une stratégie de réglages des paramètres ventilatoires basée sur la valeur de $P_{ET}CO_2$. L'auteur intègre à l'objectif d'obtention d'une valeur de $P_{ET}CO_2$ la présence d'une instabilité hémodynamique et/ou la présence clinique d'un traumatisme thoracique fermé. Ainsi, l'objectif de $P_{ET}CO_2$ était compris entre 30 et 35 mmHg en l'absence de ces 2 critères ou entre 25 et 30 mmHg si un des 2 critères était présent. Cette attitude permettait d'obtenir une normoventilation, définie par une $PaCO_2$ comprise entre 35 et 45 mmHg dans 63,2 % des cas versus 20 % des cas en l'absence de monitoring de CO_2 . L'incidence d'une hypoventilation était également réduite à 5,3 % des cas versus 37,5 % dans le groupe contrôle. L'incidence d'une hyperventilation définie par une hypocapnie inférieure à 35 mmHg à l'admission du patient dans la structure hospitalière était comparable dans les deux groupes. Davis et coll. observaient également une optimisation de la ventilation en réduisant l'incidence d'une hyperventilation sévère, définie par une $PaCO_2$ inférieure à 25 mmHg, de 13 à 5 % par un simple monitoring de la $P_{ET}CO_2$ (17). Cette étude met en relief l'importance d'un contrôle de la $PaCO_2$. L'auteur retrouve une augmentation significative de la mortalité dans la population présentant une hyperventilation sévère. Ce qui souligne l'intérêt pronostic de ce gradient en traumatologie (18, 19). Ainsi, la $P_{ET}CO_2$ permet d'optimiser rapidement et de façon non invasive la ventilation en préhospitalier mais elle ne reflète pas de manière prévisible et précise la $PaCO_2$. Or l'hypercapnie, responsable d'une vasodilatation artériolaire cérébrale intense avec élévation de la pression intracrânienne, et l'hypocapnie profonde, responsable d'une diminution du débit sanguin cérébral engendrent une aggravation du pronostic et sont donc à proscrire en dehors de signes cliniques évocateurs d'engagement ou d'hypertension intracrânienne décompensée. Par conséquent, le maintien d'une normocapnie ne doit pas se baser sur la seule capnographie, la mesure de référence est la pression artérielle en CO_2 et donc nécessite une gazométrie artérielle, idéalement réalisée dès la phase préhospitalière surtout si la durée de prise en charge ou le délai de transfert sont prolongés.

Ainsi, le monitoring continu de la $P_{ET}CO_2$ semble suffisant pour les patients qui ne nécessitent pas un contrôle strict de la $PaCO_2$. En revanche, du fait de la variation inter et intra-individuelle du gradient $PaCO_2 - P_{ET}CO_2$, ce monitoring est insuffisant pour les patient qui justifient d'un contrôle strict de la $PaCO_2$ (traumatisé crânien, traumatisé médullaire...).

1.4. Évaluation hémodynamique

En médecine d'urgence, l'évaluation hémodynamique est difficile. En préhospitalier, seule l'évolution de la $P_{ET}CO_2$ a un intérêt pour l'évaluation hémodynamique, en l'absence de défaillance ventilatoire aiguë et à ventilation alvéolaire stable. Ainsi, lors d'épisodes d'hypotension artérielle quel qu'en soit l'origine, on peut observer une chute de la valeur de la $P_{ET}CO_2$ sans modification du capnogramme. La restauration de l'état hémodynamique permettra une ré-ascension de la $P_{ET}CO_2$. Cette surveillance continue de la $P_{ET}CO_2$ permet une détection précoce des épisodes hypotensifs lorsque la mesure de la PA est mise en défaut.

L'utilisation de la $P_{ET}CO_2$ au cours d'une réanimation cardio-pulmonaire a un intérêt pronostic, diagnostique et thérapeutique. Une valeur seuil de 10 mmHg de $P_{ET}CO_2$ durant les 20 premières minutes de réanimation permet de discriminer les patients survivants des non survivants (20). Elle permet également d'orienter vers une étiologie physiopathologique de l'arrêt : en effet, une $P_{ET}CO_2$ anormalement élevée à la prise en charge initiale peut orienter vers une origine asphyxique. La valeur initiale de $P_{ET}CO_2$ n'a alors pas de valeur pronostique contrairement à celle obtenue après une minute de réanimation. De même, une diminution rapide de la $P_{ET}CO_2$ doit faire évoquer en priorité un arrêt circulatoire. La persistance d'un tracé électrocardiographique faussement rassurant ne doit pas faire errer le diagnostic. Elle doit orienter alors vers une dissociation électromécanique dont les étiologies les plus fréquentes sont, soit un désamorçage de la pompe cardiaque par hypovolémie majeure, soit un épanchement intra-thoracique compressif nécessitant un geste de sauvetage. La $P_{ET}CO_2$ permet également de guider l'efficacité des manœuvres de réanimation. Mais l'absence d'ascension des valeurs de $P_{ET}CO_2$ malgré une réanimation efficace doit impérativement faire reconsidérer le bon positionnement de la sonde d'intubation.

2. Capnographie en ventilation spontanée

La mise en place de systèmes aspiratifs permet de monitorer la ventilation au masque facial, par une canule nasale ou par un dispositif spécialement dédié à cet effet. Kober et coll. ont étudié l'apport de la capnométrie dans le monitoring des traumatisés mineurs en complément de l'oxymétrie de pouls : il évalue durant le transport la durée de dysfonctionnement du monitoring défini par l'absence de mesure lié à des problèmes techniques (21). L'oxymètre de pouls ne permet pas l'obtention d'une mesure pendant une durée de $13,2 \pm 15,3$ % du temps de transport alors que le dysfonctionnement du capnomètre ne s'effectue que pendant une période représentant $0,8 \pm 2,8$ % du temps de transport. La capnographie permet ainsi le suivi continu de paramètres vitaux et complète l'oxymétrie de pouls en réduisant pendant le transport les périodes durant lesquelles ce dernier dysfonctionne. Mais son utilisation systématique n'a eu aucun impact diagnostique ou thérapeutique dans ce cadre et ne saurait se substituer à l'oxymétrie.

2.1. Monitoring de la sédation

Les premières publications proposant la capnographie comme élément de surveillance des patients sédatisés aux urgences sont récentes. Elle pourrait être un outil de détection précoce d'une dépression respiratoire lors d'une analgésie et /ou sédation par l'analyse du rythme respiratoire et des variations de $P_{ET}CO_2$. L'analyse des plaintes liés aux complications d'une sédation profonde aux États-Unis soulignent que 20 % des accidents auraient pu être prévenu par l'utilisation de la capnographie, en complément de l'oxymétrie (22). Dans une étude prospective visant à évaluer la survenue des dépressions respiratoires au cours des procédures de sédation au sein d'un service d'urgence, 44 % des patients présentaient soit une $P_{ET}CO_2$ supérieure à 50 mmHg ou une augmentation de plus de 10 mmHg soit l'absence de capnogramme (23). L'oxymétrie de pouls détectait une désaturation inférieure à 90 % dans un tiers des cas, une ventilation assistée était nécessaire dans 14 % des cas. Dans une population plus sélectionnée, Burton et coll. montraient que 88 % des patients présentant un événement indésirable respiratoire ont une pression de fin d'expiration en CO_2 « anormale » et pour 71 % des patients : la détection de ces incidents aurait été plus précoce par la capnographie, comparativement à la saturation pulsée en O_2 ou à l'observation clinique (24). Une sédation, en fonction de l'agent utilisé, induit plusieurs mécanismes d'hypoventilation (soit d'origine centrale, soit d'origine obstructive) mais également une dépression myocardique. Ceci explique les différentes anomalies observées lors de cette procédure. Ainsi la $P_{ET}CO_2$ peut être basse, ou élevée, voire normale ou détectée une apnée infra-clinique. Des études complémentaires dans ce domaine sont nécessaires afin de définir des paramètres d'alerte.

2.2. Monitoring de la spasticité bronchique

La capnographie en ventilation spontanée permet également de quantifier la spasticité bronchique et l'évolution sous traitement de façon reproductible et fiable mais essentiellement pour des patients en état stables, non anxieux et coopérants. Le bronchospasme, par l'augmentation des résistances à l'écoulement des gaz, induit une modification du capnogramme avec réduction du pseudo-plateau expiratoire (réduction de la vidange alvéolaire), et augmentation de l'angle $\alpha = \Delta PCO_2/dt$ représentant la pente du plateau expiratoire. Dans ce contexte, la $P_{ET}CO_2$ n'est plus le reflet de la pression alvéolaire en CO_2 du fait d'un trapping alvéolaire. Cet angle α permet de quantifier la spasticité de l'arbre bronchique mais ne permet pas de trier les patients les plus sévères. En absence de plateau, la valeur de l' $ETCO_2$ n'est pas fiable. En effet, si cet angle est modifié par la spasticité bronchique, il existe une grande variabilité entre les patients, notamment porteur d'une bronchopathie chronique obstructive tel que cette mesure ne permet pas de distinguer de façon constante et reproductible les patients les plus sévères (25).

L'évaluation de l'espace mort alvéolaire par la mesure concomitante de la pression expirée et de la pression artérielle en CO_2 a fait l'objet de publications dans

le cadre du diagnostic de l'embolie pulmonaire et de l'efficacité de la fibrinolyse et reste une voie de recherche.

Simple et rapide d'utilisation, non invasif, le monitoring de la $P_{ET}CO_2$ et du capnogramme sont devenus des éléments incontournables dans la prise en charge des patients en état grave et indispensables dès lors que le patient est intubé.

Bien plus qu'un instrument de surveillance, la capnographie peut prévenir précocement un accident potentiellement hypoxémique voire fatal, orienter vers un diagnostic et guider une thérapeutique. Son analyse nécessite une démarche systématisée : elle commence par la validation de la mesure grâce à la courbe enregistrée et l'interprétation de cette dernière se poursuit après avoir intégré à la fois l'état clinique du patient et les données des différents appareils de monitoring, température, spirométrie, pressions ventilatoires, hémodynamique. Elle contribue à l'optimisation de la ventilation en préhospitalier mais elle ne permet pas de s'affranchir de la mesure de la pression artérielle en CO_2 .

Références bibliographiques

1. Adnet F, Galinski M, Lapostolle F. Conférence d'actualisation de la société française d'anesthésie et réanimation. 2003 : 443-56.
2. Adnet F, Jouriles N, Le Toumelin P et al. Survey of out-hospital emergency intubations in the french prehospital medical system: A multicenter study. *Ann Emerg Med* 1998 ; 32 : 454-60.
3. Karch S, Lewis T, Young S et al. Field intubation of trauma patients: complications, indications, and outcomes. *Am J Emerg Med* 1996 ; 14 : 617-9.
4. Katz S, Falk J. Misplaced endotracheal tubes by paramedics in an urban emergency medical services system. *Ann Emerg Med* 2001 ; 37 : 32-7.
5. Ward K, Yealy D. End-tidal Carbon Dioxide Monitoring in Emergency Medicine. *Acad Emerg Med* 1998 ; 628-36.
6. Knapp S, Kofler J, Stoiser B et al. The Assessment of Four Different Methods to Verify Tracheal Tube Placement in the Critical Care Setting. *Anesth Analg* 1999 ; 88 : 766-70.
7. Li J. Capnography alone is imperfect for endotracheal tube placement confirmation during emergency intubation. *J Emerg Med* 2001 ; 20 : 223-9.
8. Grmec S. Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. *Intensive Care Med* 2002 ; 28 : 701-4.
9. Silvestri S, Ralls GA, Krauss B et al. The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system. *Ann Emerg Med* 2005 ; 45 : 497-503.
10. Sanehi O, Calder I. Capnography and the differentiation between tracheal and oesophageal intubation. *Anaesthesia* 1999 ; 54 : 604-5.
11. Grmec S, Lah K, Tusek-Bunc K. Difference in end-tidal CO_2 between asphyxia cardiac arrest and ventricular fibrillation/pulseless ventricular tachycardia cardiac arrest in the prehospital setting. *Crit Care Med* 2003 ; 7 : 139-44.

12. Timermann A, Russo S, Eich C et al. The out of hospital oesophageal and endobronchial intubations by emergency physicians. *Anesth Analg* 2007 ; 104 : 619-23.
13. Tinker J, Dull D, Caplan R et al. Role of monitoring devices in prevention of anesthetic mishaps: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 1989 ; 71 : 541-6.
14. Webb R, Russell W, Klepper I et al. The Australian Incident Monitoring Study. Equipment failure: an analysis of 2000 incident reports. *Anaesth Intensive Care* 1993 ; 21 : 673-7.
15. Décret n° 94-1050 du 5 décembre 1994 relatif aux conditions techniques de fonctionnement des établissements de santé en ce qui concerne la pratique de l'anesthésie. *Journal officiel de la république française*, 8 décembre 1994, in 94-1050, 1994.
16. Helm M, Schuster R, Hauke J et al. Tight control of prehospital ventilation by capnography in major trauma victims. *Br J Anaesth* 2003 ; 90 : 327-32.
17. Davies D, Dunford J, Ochs M et al. The use of end-tidal capnometry to avoid inadvertent severe hyperventilation in patients with head injury after paramedic rapid sequence intubation. *J Trauma* 2004 ; 56 : 808-14.
18. Tyburski J, Collinge J, Wilson R et al. End-tidal carbon dioxide derived values during emergency trauma surgery correlated with outcome: a prospective study. *J Trauma* 2002 ; 53 : 738-43.
19. Deakin C, Sado D, Coats T et al. Prehospital end tidal dioxide concentration and outcome in major trauma. *J Trauma* 2004 ; 57 : 65-8.
20. Levine R, Wayne M, Miller C. End-tidal carbon dioxide and outcome of out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 1997 ; 337 : 301-6.
21. Kober A, Schubert B, Bertalanffy P et al. Capnography in non-tracheally intubated emergency patients as an additional tool in pulse oximetry for prehospital monitoring of respiration. *Anesth Analg* 2004 ; 98 (1) : 206-10.
22. Bhananker SM, Posner KL, Cheney FW et al. Injury end liability associated with monitored anesthesia care: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 2006 ; 104 : 228-34.
23. Miner J, Heegaard W, Plummer D. End-tidal carbon dioxide monitoring during procedural sedation. *Acad Emerg Med* 2002 ; 9 : 275-80.
24. Burton JH, Harrah JD, Germann CA et al. Does end-tidal carbon dioxide monitoring detect respiratory events prior to current sedation monitoring practices? *Acad Emerg Med* 2006 ; 13 (5) : 500-4.
25. Krauss B, Deykin A, Lam A et al. Capnogram shape in obstructive lung disease. *Anesth Analg* 2005 ; 100 : 884-8.