

Modes ventilatoires au bloc opératoire

J.-L. Bourgain

Service d'anesthésie, Institut Gustave Roussy, 94800 Villejuif
E-mail : bourgain@igr.fr

POINTS ESSENTIELS

- La priorité des réglages du respirateur est de limiter le barotraumatisme. Ceci requiert l'utilisation, chez l'adulte, de volume courant de l'ordre de 6 à 8 ml.kg⁻¹.
- Pendant la ventilation au masque facial, il est important de limiter les pressions dans les voies aériennes pour éviter l'insufflation gastrique. Ceci est particulièrement critique en pédiatrie.
- Cette limitation des pressions des voies aériennes lors de la ventilation au masque justifie le monitoring de ces pressions et l'utilisation du mode pression contrôlée. Dans ce contexte, la ventilation avec le circuit accessoire doit être proscrite.
- L'aide inspiratoire améliore la qualité de la ventilation spontanée particulièrement lors de l'induction et de la ventilation sous masque laryngé.
- L'aide inspiratoire est un adjuvant utile lors de la préoxygénation.
- Chez l'obèse, certains principes doivent être appliqués afin d'éviter les écueils de la ventilation mécanique : réglage du volume courant vers 8 ml.kg⁻¹ de poids corporel idéal (la fréquence respiratoire est ajustée pour obtenir une capnigraphie satisfaisante), manœuvre de recrutement alvéolaire (40 à 45 cm H₂O pendant 15 secondes maximum) et PEEP à 10 cm H₂O, monitoring de la relation pression volume et débit volume. L'existence d'une hyperinflation dynamique n'est pas rare chez l'obèse.
- L'utilisation des modes ventilatoires modernes (dont l'aide inspiratoire) impose une surveillance accrue : monitoring et présence d'un personnel formé
- Il est important d'exécuter les autotests de la machine jusqu'à complète réussite pour travailler en toute sécurité. Les machines gardent en mémoire les événements où la ventilation a débuté après échec des autotests.
- La formation des médecins et des IADE sur ces nouveaux modes de ventilation mécanique est indispensable. Une action commune associant les fabricants, les ingénieurs biomédicaux et les cliniciens (anesthésie et réanimation) est proche d'aboutir.

INTRODUCTION

Pendant plusieurs années, le débat concernant les machines d'anesthésie a été centré sur le circuit et la délivrance des gaz anesthésiques. Plus récemment, l'accent a été porté sur les nouveaux modes ventilatoires comme la ventilation en pression contrôlée et l'aide inspiratoire. Plusieurs articles ont également insisté sur les conséquences délétères de la ventilation spontanée, ouvrant des indications à l'aide inspiratoire. Parallèlement, la place de la pression positive de fin d'expiration (PEP) et des manœuvres de recrutement a été mieux définie. L'utilisation de ces nouvelles techniques suppose une surveillance de la mécanique respiratoire (au mieux par les boucles pression volume et débit volume) pour juger de l'efficacité et des éventuels effets secondaires de ces traitements.

Pour utiliser les respirateurs en sécurité, il convient de respecter deux principes fondamentaux : la réalisation des autotests avec succès et une formation de l'ensemble de l'équipe à l'utilisation des machines d'anesthésie dans toutes leurs fonctionnalités.

PRÉAMBULE

Circuit principal et circuit accessoire

Le circuit accessoire n'est utile qu'en cas de défaillance du circuit principal. Le monitoring prévient le clinicien de l'anomalie de fonctionnement du circuit principal et lui permet de prendre la décision de passer sur le circuit accessoire. En cas de défaillance du respirateur, la procédure habituellement recommandée est d'utiliser le circuit d'anesthésie en assurant la ventilation manuelle au ballon ; ceci permet de garder la totalité du monitoring.

L'intérêt du circuit accessoire à l'induction et au réveil se résume à la puissance des habitudes acquises précocement... Il n'apporte aucun avantage du point de vue mécanique (résistance du circuit, fiabilité) ni cinétique puisque la rapidité de l'induction et du réveil n'est pas meilleure avec ces circuits comparés au circuit filtre à haut débit de gaz frais. Il présente l'inconvénient majeur de ne pas être complètement monitoré, en particulier au niveau des pressions des voies aériennes ; ce point est critique tant au plan réglementaire que sécuritaire quand on sait que le risque d'insufflation gastrique est proportionnel à la valeur de la pression d'insufflation chez un sujet non intubé.

La vérification avant utilisation des circuits accessoires pose des problèmes du fait de l'absence de procédures validées et de la difficulté des mesures objectives sur des appareils rudimentaires. A l'opposé, le circuit filtre est facile à contrôler avant utilisation par des procédures validées, il dispose de l'ensemble du monitoring, il est plus économique et moins polluant, sa maintenance peut être parfaitement standardisée.

Fait important et récent : Lors de la ventilation au masque facial, le risque d'insufflation gastrique est augmenté proportionnellement au niveau des pressions d'insufflation. Chez l'adulte, il est habituel de fixer le seuil critique à partir duquel le risque d'insufflation devient important à 20 cmH₂O. Chez l'enfant, ce seuil est plus bas, vers 15 cmH₂O et d'autant plus faible que l'enfant est jeune (1). La ventilation dans le circuit principal après l'induction permet de contrôler réellement la ventilation en mettant en route le respirateur (2). Ceci permet de réduire les pressions d'insufflation surtout si le mode pression a été choisi. Il est ainsi possible de ventiler de façon satisfaisante pour des pressions d'insufflation de l'ordre de 10 cmH₂O (2). Ceci a conduit les experts de la conférence sur l'intubation difficile à recommander pendant l'induction anesthésique la ventilation au masque par le respirateur (3).

Ventilation mécanique et circuit filtre

Le principe de fonctionnement des ventilateurs d'anesthésie est bien particulier puisqu'ils propulsent chez le patient les gaz anesthésiques. La majorité de ces ventilateurs sont couplés à des circuits filtres qui sont composés d'un soufflet, d'un bac à chaux sodée et de valves inspiratoires et expiratoires.

Les problèmes techniques en relation avec la ventilation mécanique à travers un circuit filtre ont été résolus par les fabricants. Le volume mort des circuits filtre est élevé et une élévation de la pression comprime le gaz et réduit le volume réellement insufflé chez le patient de façon proportionnelle. Les appareils modernes mesurent la compliance interne pendant la check-list et appliquent automatiquement un facteur correctif (4). Les machines les plus récentes ont des performances comparables à celles des ventilateurs de réanimation (5).

Les autotests des machines sont automatisés et doivent être effectués de façon quotidienne. Il est nécessaire de tenir compte des éventuels messages d'erreur affichés lors de ces contrôles. La négligence de ces informations gêne l'utilisation de ces machines dans toutes leurs fonctionnalités et altère la sécurité. Il est important que ces contrôles soient intégrés dans une stratégie de sécurité au niveau de l'ensemble du service. En effet, des

manques dans cette politique peuvent être à l'origine d'une dégradation des performances des machines, elles-mêmes source d'insécurité. Les facteurs individuels, tant au niveau médical qu'infirmier sont importants (6). Sur un autre plan, la présence de matériel de rechange immédiatement disponible permet de maintenir l'activité et de ne pas perdre de temps à résoudre des problèmes techniques sur site (7).

Des vérifications doivent également être effectuées dans la journée entre deux patients : elles concernent

- l'hygiène (changement de filtre, décontamination) ;
- les préréglages du ventilateur ;
- un test de fuite particulièrement si les tuyaux ou la chaux sodée ont été changés. Ceci permet de mesurer la compliance du circuit, paramètre indispensable à la compensation du volume courant vis-à-vis de la compressibilité des gaz dans le circuit.

Chaque fabricant impose une stratégie de maintenance, selon des modalités précises et contractuelles. Il s'agit de la face cachée de l'appareil, pour le clinicien, mais pas pour l'établissement qui assure la maintenance via un service biomédical. Ces contraintes et leurs coûts sont des éléments importants à considérer à l'achat.

Les réglages classiques du ventilateur

Les réglages utiles se limitent à ceux du volume courant, de la fréquence respiratoire et de la PEP. Le soupir automatique (augmentation du temps d'insufflation de 100% tous les 50 ou 100 cycles) est inefficace (8). Pour recruter des zones pulmonaires atelectasiées, il faut maintenir la pression pulmonaire largement au-dessus de 20 cmH₂O pendant 10 à 15 secondes (9). Les effets hémodynamiques ne sont pas négligeables et l'hypovolémie est une contre indication formelle à ces manœuvres (10).

Les modifications du rapport I:E (de 1:5 à 1:1) n'améliorent ni la ventilation ni l'hématose des patients sans antécédents cardio-respiratoires (11). Allonger ce rapport diminue les pressions d'insufflation par baisse du débit inspiratoire.

En pratique, les modifications de volume pulmonaire induites par le I:E dépendent de plusieurs facteurs potentiels : diamètre de la sonde d'intubation, augmentation de l'élasticité pulmonaire, fréquence respiratoire ... Un raccourcissement du temps d'insufflation améliore la vidange pulmonaire par augmentation du temps expiratoire, mais augmente la pression

d'insufflation par l'augmentation du débit d'insufflation qu'il impose. Il importe donc de surveiller la qualité de la ventilation avec précaution : forme du capnigramme, limitation de la pression d'insufflation, détection de l'hyperinflation dynamique par la visualisation des boucles débit volume. Les modifications pulmonaires induites par des variations de I:E chez le patient porteur d'une BPCO sont complexes, mais l'augmentation du temps expiratoire (diminution de I:E) ou le raccourcissement du temps expiratoire (pause expiratoire) tendent à diminuer le shunt et l'espace mort avec de faibles augmentations de la PaO₂ (12,13).

L'utilisation d'un temps de pause inspiratoire revient à augmenter le débit d'insufflation et donc à augmenter la pression d'insufflation. Le bénéfice du temps de pause inspiratoire sur la distribution de la ventilation n'a jamais été démontré.

La ventilation spontanée au cours de l'anesthésie

Elle a été pendant des années largement répandue ; cette popularité a disparu du fait de la sécurité apportée par l'intubation et la ventilation mécanique. L'utilisation croissante des dispositifs supraglottiques, la popularité des anesthésies locorégionales, les indications croissantes des interventions mini-invasives sous sédation sont de nouvelles occasions pour réaliser des anesthésies en ventilation spontanée plus ou moins assistée.

En anesthésie, la ventilation spontanée favorise la formation d'atélectasies et s'accompagne d'une diminution de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) d'autant plus importante que l'expiration est active. L'inspection des mouvements de la cage thoracique et de l'abdomen identifie facilement cette situation, le plus souvent transitoire lors de l'induction ou du réveil. La prolongation de la ventilation spontanée lorsqu'elle est de mauvaise qualité génère des atélectasies et des hypoxémies souvent sévères. La distribution de la ventilation dans le poumon est modifiée par les agents anesthésiques dans une relation dose-dépendante. L'augmentation du volume pulmonaire par la CPAP corrige en partie ces altérations (14).

La surveillance instrumentale de la ventilation spontanée sans intubation repose sur la SpO₂ qui n'alerte que tardivement et détecte mal les états d'hypoventilation alvéolaire. Il est désormais possible de surveiller le CO₂ en échantillonnant les gaz expirés à travers des lunettes d'oxygène ou des masques faciaux. Ces dispositifs sont utiles, mais moins efficaces que la PCO₂ transcutanée qui a le défaut d'être contraignante (15).

VENTILATION EN PRESSION CONTROLÉE

La ventilation en pression contrôlée s'oppose à la ventilation en mode volume contrôlé. Les différences sont résumées sur le **tableau 1**.

Tableau 1.- Différences entre ventilation en mode pression contrôlée et en mode volume contrôlé.

| | Volume contrôlé | Pression contrôlée |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Consigne de réglage | Réglage du Vt : la pression d'insufflation dépend de l'impédance thoracopulmonaire | Réglage de la pression d'insufflation : le volume insufflé dépend de l'impédance thoracopulmonaire |
| Débit d'insufflation | Débit constant | Débit décélérant |
| Ventilation à fuites | Diminution du Vt expiré | Meilleur maintien du Vt |
| Monitoring | Pression d'insufflation | Volume courant |

Pour que ce mode soit efficace, le ventilateur doit assurer des débits inspiratoires élevés (16) et les machines récentes sont de plus en plus performantes à cet égard. La ventilation en pression contrôlée permet de délivrer un volume courant satisfaisant en présence de fuite (sur la sonde d'intubation sans ballonnet ou le masque laryngé).

Toute chose égale par ailleurs, la ventilation en pression contrôlée permet une ventilation mécanique à une pression d'insufflation plus faible qu'en mode volume contrôlé, à volume courant égal. L'intérêt de ce mode a été démontré lors de la ventilation à travers un masque laryngé (17) et lors de ventilation à poumons séparés dans la chirurgie pulmonaire, (18) bien que les résultats de ce travail aient été depuis contestés. Des avantages ont également été décrits lors de la ventilation en pédiatrie (sonde d'intubation de faible diamètre) (19).

En dehors de la ventilation au masque (facial ou laryngé) et de la pédiatrie, le bénéfice thérapeutique réel de la réduction de la pression d'insufflation n'a pas été prouvé, (20) mais la littérature ne fait pas le consensus. Associée à une PEP, le mode pression contrôlée améliore discrètement l'hématose des enfants ventilés à travers un masque laryngé Proseal® sans majoration des fuites (21).

L'utilisation de ce mode nécessite une formation. Tout changement d'impédance thoracique va modifier le niveau de ventilation dans un sens ou dans l'autre. La ventilation n'étant pas stable, la surveillance du volume minute (ou mieux du Vt) est impérative. Le monitoring des boucles pression volume est d'un grand intérêt parce qu'il détecte précocement les modifications de mécanique respiratoire, particulièrement lorsqu'elles sont liées à des variations de profondeur d'anesthésie. Il convient de mémoriser une boucle sous anesthésie profonde et de la comparer aux boucles affichées en permanence.

Pour pallier les variations de ventilation en rapport avec les modifications d'impédance thoracopulmonaire, le mode dit « auto-flow » ou pression contrôlée à volume garanti a été conçu. L'anesthésiste règle une consigne de volume courant et la machine ajuste la pression d'insufflation pour garantir l'administration du volume désiré en mode pression contrôlée. L'intérêt de ce mode n'a pas encore été évalué.

MODES AUTO-DECLENCHES

L'avantage majeur des circuits filtre est qu'ils permettent le passage ventilation spontanée – ventilation contrôlée en activant un simple commutateur. Ceci n'est pas un simple gadget puisque cette fonction est utilisée au moins deux fois pour chaque anesthésie générale : lors de l'induction (passage de la ventilation spontanée lors de la préoxygénation à la ventilation manuelle puis mécanique) et lors du réveil (sevrage de la ventilation mécanique).

Principes et réglages

Deux modes de ventilation fonctionnent sur des cycles déclenchés par le patient : la VACI (ventilation assistée contrôlée intermittente) et l'aide inspiratoire (AI). Les caractéristiques de ces modes sont résumées sur le **tableau 2**. Fait important, le patient anesthésié tolère l'insufflation mécanique qu'il a déclenchée si l'augmentation inspiratoire du volume pulmonaire est rapidement satisfaite. En VACI, l'existence d'un débit d'insufflation constant retarde l'augmentation du volume pulmonaire et gêne l'efficacité de ce mode. Il est bien plus facile d'adapter un patient en aide inspiratoire du fait d'un débit inspiratoire décélérant. L'existence d'un trigger expiratoire permet d'arrêter l'insufflation dès que le débit expiratoire chute, signalant à la machine la fin de l'inspiration. De ce fait, le rapport I/E n'est pas réglé par le clinicien, mais déterminé par le patient ; il représente d'ailleurs un élément de surveillance important. Plus le rapport I/E mesuré est court, plus le risque d'une mauvaise tolérance est élevé. Il est nécessaire d'y adjoindre un temps inspiratoire maximum autorisé pour arrêter l'insufflation en présence de fuites.

Tableau 2.- Comparaison des caractéristiques principales de la ventilation assistée contrôlée intermittente (VACI) et de l'aide inspiratoire (AI).

| | VACI | AI |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| Déclenchement d'un cycle (trigger inspiratoire) | Diminution de la pression dans le circuit | Inversion des débits en fin d'expiration |

| | | |
|----------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Fin de l'inspiration | Déterminée par le temps expiratoire (FR x I/E) | Trigger expiratoire ou temps expiratoire maximum |
| Mode ventilatoire | Cycle en volume contrôlé | Cycle en pression contrôlée |

A priori, il paraît logique de régler le niveau de trigger au minimum, à condition d'éviter l'autodéclenchement. La sensibilité du trigger et le paramètre de déclenchement variant d'un constructeur à l'autre, une valeur de sécurité ne peut être proposée pour toutes les machines. Les phénomènes d'autodéclenchement ne sont pas rares et doivent être identifiés. Dans certains cas, ceci est simple quand le trigger est déclenché par les oscillations cardiaques et que les cycles ventilatoires sont synchrones de l'ECG (22). Ailleurs, le diagnostic d'autodéclenchement est moins évident et repose sur la constatation de l'absence de mouvements respiratoires après commutation du circuit en mode manuel (22). Les opiacés majorant le tonus des muscles abdominaux pendant l'expiration favoriseraient la transmission des modifications de volume cardiaque aux voies aériennes (23). Une fuite pendant l'expiration serait un éventuel mécanisme de déclenchement spontané du trigger par l'augmentation de la chute du débit expiratoire qui simulerait un appel inspiratoire (24).

Le niveau d'aide dépend des conditions mécaniques du système respiratoire et doit être adapté au patient (obésité, BPCO, obstruction des voies aériennes supérieures) et au niveau d'assistance respiratoire que le clinicien choisit. Des logiciels permettent la gestion automatique des paramètres soit pour ajuster le niveau de ventilation sur l'hématose (25) soit pour raccourcir la période de sevrage du ventilateur (26).

Ce mode ventilatoire prédispose à l'instabilité et il convient d'accepter une certaine irrégularité des cycles (27). Fait très important, si l'ensemble de ces nouveaux modes semble intéressant et utile, ils requièrent une attention soutenue pour adapter les réglages du respirateur et/ou la profondeur d'anesthésie aux modifications induites par le patient.

Indications de l'aide inspiratoire

Des travaux ont rapporté des résultats encourageants lors de l'induction anesthésique :

- la préoxygénation chez le sujet sain (28) ou chez l'obèse (29) ;
- l'induction au sévoflurane chez l'adulte (30) ;
- la ventilation sous masque laryngé chez l'enfant chez l'enfant (31) ;
- l'assistance ventilatoire au cours de l'intubation sous fibroscopie en réanimation (32) et au bloc opératoire (33) ;
- l'assistance ventilatoire au cours des dyspnées laryngées (34).

Dans ce contexte, l'aide inspiratoire améliore très nettement la ventilation par augmentation du volume courant. Les effets sur la fréquence respiratoire ne sont pas tous concordants : stabilité ou diminution selon les cas. La diminution des pressions des voies aériennes pendant la phase d'induction est d'autant plus cruciale chez le nourrisson que le risque d'insufflation gastrique est inversement proportionnel à l'âge de l'enfant (1)

D'autres ont montré un intérêt de l'aide inspiratoire au cours de la maintenance de l'anesthésie sous masque laryngé chez l'adulte (35) et chez l'enfant (31). Sous aide, la ventilation est améliorée avec des pressions des voies aériennes et des fuites plus faibles. Pendant la chirurgie, le contrôle de la réponse nociceptive doit être excellent, car le niveau de profondeur d'anesthésie doit être compatible avec le maintien d'une ventilation spontanée. Ceci est obtenu facilement par l'anesthésie locorégionale, plus difficilement sous anesthésie générale balancée. Sous anesthésie intraveineuse, une discrète amélioration de la distribution des rapports VA/Q et une meilleure oxygénation a été démontré sous aide inspiratoire et PEEP (36).

Une diminution du travail respiratoire sans modification de l'hématose a également été rapportée sous enflurane en comparaison avec la ventilation spontanée (37). Au maximum, une augmentation du niveau d'aide inspiratoire à 17 cmH₂O rend négligeable le travail respiratoire et rend comparable le mode en pression contrôlée et l'aide inspiratoire (38). Ceci explique pourquoi l'aide inspiratoire est utile pour ventiler des patients grands insuffisants respiratoires (restrictifs (39) ou obstructifs (40)) pendant des actes chirurgicaux, en association avec une anesthésie locorégionale.

En postopératoire, la poursuite de la CPAP est prônée chez les patients porteurs d'un syndrome d'apnée obstructive ; elle est habituellement réalisée avec l'appareillage du patient en gardant les mêmes paramètres de réglage. Néanmoins, le bénéfice de la CPAP après l'extubation reste très discuté (41). En décours de la chirurgie cardiaque (42) ou de la greffe hépatique (43), l'aide inspiratoire est utile pour raccourcir la durée de sevrage à condition d'utiliser un protocole d'anesthésie rapidement réversible.

Il est difficile de démontrer l'utilité de l'aide inspiratoire en postopératoire de la chirurgie autre que cardiaque. De fait, l'indication de la ventilation contrôlée postopératoire dépend du niveau de conscience, d'une curarisation résiduelle, d'une instabilité hémodynamique ou d'une hypothermie sévère. En contrôlant ces facteurs, il est possible d'extuber sur table la grande majorité des patients en réduisant l'incidence de la ventilation contrôlée en SSPI à moins de 0,5% (44). Réaliser une étude prospective randomisée comparant l'extubation sur

table avec l'extubation différée en salle de réveil est impossible, car certains patients ne pourront pas éthiquement rester dans leur groupe de tirage. A l'heure actuelle, le choix de la stratégie est celui du service et dépend autant (voire plus) de l'organisation et des habitudes d'un service que de la réalité médicale du problème. En cas de défaillance respiratoire postopératoire, la ventilation non invasive permet de réduire l'incidence de l'intubation et des infections nosocomiales et de diminuer la durée d'hospitalisation (45). Néanmoins, la cause de la défaillance respiratoire doit être identifiée et doit recevoir un traitement approprié. L'intérêt de la ventilation non-invasive prophylactique après chirurgie apparaît moins clair. Il semble qu'elle apporte un bénéfice après chirurgie thoracique et bariatrique ; ceci apparaît moins évident pour les chirurgies abdominales ou cardiaques (45).

MÉTHODES VISANT À AMÉLIORER L'OXYGÉNATION

L'hypoxémie peropératoire est largement dépendante de la présence de micro-atélectasies. Les anesthésies sous ventilation contrôlée font baisser la CRF avec collapsus alvéolaire et altération de l'oxygénation. La PEP permet l'expansion des alvéoles collabées. Cette pratique est peu utilisée au cours des anesthésies, car les problèmes d'oxygénation sont, au premier abord, facilement corrigés par une augmentation de la FiO_2 . Néanmoins, l'utilisation de FiO_2 élevée favorise l'extension des micro-atélectasies et doit être utilisée avec prudence. Les manœuvres de préoxygénation ont été incriminées dans la genèse des atélectasies. De façon synchrone, deux paramètres concourent à favoriser la création d'atélectasies sous anesthésie : une FiO_2 élevée surtout si elle dépasse 0,8 et la durée d'exposition. Ainsi, le bénéfice d'utiliser une FiO_2 à 0,8 diminue avec le temps (46).

Deux méthodes, éventuellement associées, sont sensées améliorer l'oxygénation : la PEP et les manœuvres de recrutement alvéolaire.

Manœuvre de recrutement

La manœuvre de recrutement la plus simple consiste à passer la machine d'anesthésie en mode manuel et à régler la pression par ajustement de la valve APL. L'autre manœuvre consiste à ventiler pendant une minute à haut niveau de PEP (20 cmH_2O) et grand volume courant pour obtenir une pression d'insufflation proche de 40 cmH_2O .

Une manœuvre de recrutement (40 cmH₂O pendant 15 secondes (47)) permet de lever les micro-atélectasies post-induction si elle est suivie par l'application d'une PEP à 10 cmH₂O (48). Pendant les cholécystectomies laparoscopiques, les manœuvres de recrutement n'améliorent l'oxygénation que pendant la chirurgie (49). L'instauration d'une PEP peut être indiquée chez les obèses pour améliorer l'oxygénation (50). Elle n'est pas toujours bien tolérée d'un point de vue hémodynamique, raison pour laquelle il n'est pas utile de dépasser 15 secondes de surpression. Elle est inutile pour prévenir les embolies gazeuses. L'amélioration de l'oxygénation par la méthode de recrutement a également été démontrée en pédiatrie (51).

Pression positive téléexpiratoire

L'application d'une PEP pendant l'anesthésie améliore habituellement la compliance et augmente la CRF (52). Cet effet est particulièrement net chez l'obèse. L'effet sur la mécanique respiratoire ne se traduit pas forcément par une amélioration de l'oxygénation. Il est probable que les modifications de débit cardiaque annihilent les effets de la PEEP sur l'oxygénation. L'adjonction d'une PEEP pendant la préoxygénation améliore la PaO₂ après intubation par rapport à un groupe contrôle sans PEEP (PaO₂ 457±130 mmHg vs 315±100 mmHg respectivement) (53). Une PEEP à 12 cmH₂O associée à des manœuvres de recrutement alvéolaire jusque 50 cmH₂O permet d'améliorer la PaO₂ et la compliance dynamique au cours de la chirurgie bariatrique au prix d'une augmentation de la quantité de vasopresseurs administrés ; cet effet bénéfique ne se prolonge pas après l'extubation (54). Une autre équipe travaillant sur le même type de chirurgie a proposé de titrer la PEEP en mesurant le gain de CRF par l'impédance thoracique : un chiffre moyen de 15 cmH₂O permet d'optimiser la CRF et l'oxygénation, un remplissage modéré (de 500 à 1500 ml) permettant le maintien du débit cardiaque (55). Dans cette étude, des effets bénéfiques sur l'espace mort étaient notés après chirurgie.

Récemment, une étude a spécifiquement comparé l'oxygénation dans deux groupes de patients : l'un étant soumis à une manœuvre de recrutement et un PEEP et l'autre étant un groupe témoin. La différence alvéolo-artérielle en O₂ une heure après l'extubation était identique dans les deux groupes (41).

La ventilation chez l'obèse

Elle est de mieux en mieux codifiée.

La préoxygénation en position assise, la ventilation au masque facial éventuellement avec une PEEP, le recours au Fastrach® en cas de ventilation au masque difficile sont des mesures efficaces qui limitent l'incidence des désaturations à l'induction.

Pendant l'anesthésie, le volume courant est réglé entre 6 et 10 ml.kg⁻¹ de poids idéal pour éviter le barotraumatisme. La fréquence respiratoire est réglée en fonction de la PetCO₂ en surveillant que le débit expiratoire redevient nul en fin d'expiration.

Les manœuvres de recrutement (35 à 45 cmH₂O pendant 6 secondes) suivies par l'application d'une PEEP entre 7 et 10 cmH₂O sont utiles pour améliorer la mécanique respiratoire. Ces mesures ne sont appliquées qu'en l'absence d'hypovolémie et après que la situation hémodynamique se soit stabilisée au décours immédiat de l'induction (10). Dans tous les cas, la surveillance de la mécanique respiratoire, au mieux par les boucles, est indispensable pour juger de l'efficacité des réglages de la machine.

ASPECTS BUDGÉTAIRES

Les coûts induits par ces nouveaux modes ventilatoires n'apparaissent pas déraisonnables lorsqu'on les compare aux charges salariales. Dans notre expérience, l'équipement anesthésique complet d'une salle d'opération revient à 61 000 € et à 20 000 € par lit de réveil. Compte tenu de l'activité de l'IGR et d'une utilisation pendant 10 ans, le retour sur investissement est de 10 € par anesthésie. Ces chiffres n'incluent pas les coûts de maintenance et d'usage unique qui sont loin d'être négligeables. En 1999, les frais de maintenance annuelle correspondent à environ 10% du prix d'achat (56). Ceci revient à dire qu'au bout de 10 ans, l'hôpital aura dépensé autant d'argent en maintenance qu'en investissement. Ce coût a diminué depuis et la dépense annuelle de maintenance se situe entre 5 et 7 % du prix d'achat.

CONCLUSION

Les nouveaux modes de ventilation en pression positive ont été récemment mis au point. La ventilation en pression contrôlée induit une meilleure ventilation pour une pression d'insufflation donnée et une meilleure gestion des fuites sous masque laryngé. L'aide inspiratoire semble utile pendant les phases de l'anesthésie où la ventilation spontanée est insuffisante (induction et maintenance de l'anesthésie en ventilation spontanée). Les

problèmes d'oxygénation peuvent être traités par des manœuvres de recrutement plus ou moins associées à l'application d'une PEEP, plutôt que par l'augmentation simple de la FiO_2 . La surveillance de la mécanique respiratoire donne des éléments rationnels, permettant de prescrire et de contrôler l'efficacité de ces manœuvres.

Figure 1 Visualisation des différences entre le mode pression contrôlée (en fin) et volume contrôlé (en gras) sur les boucles débit volume (à droite) et pression volume (à gauche).

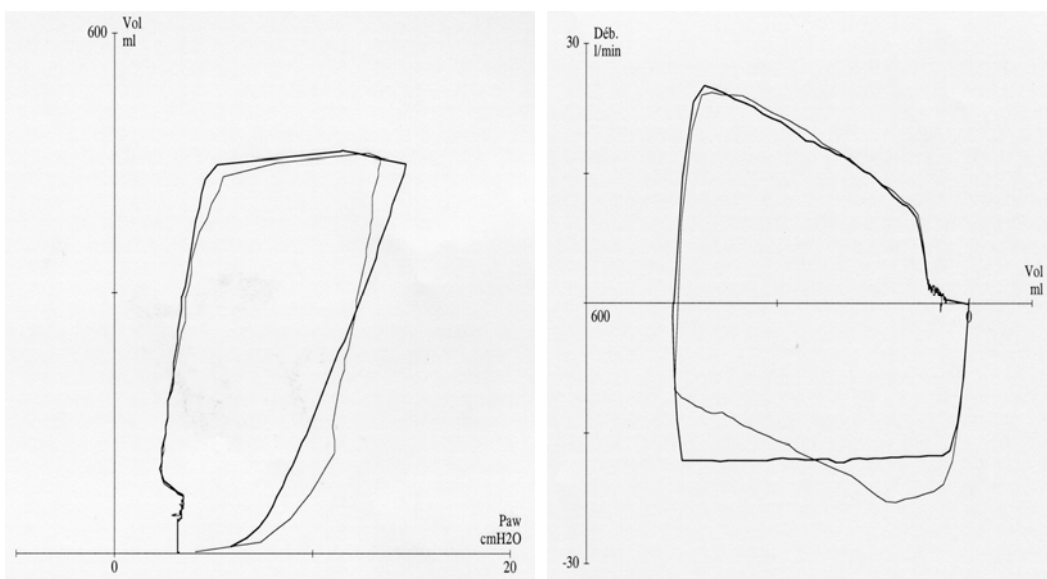
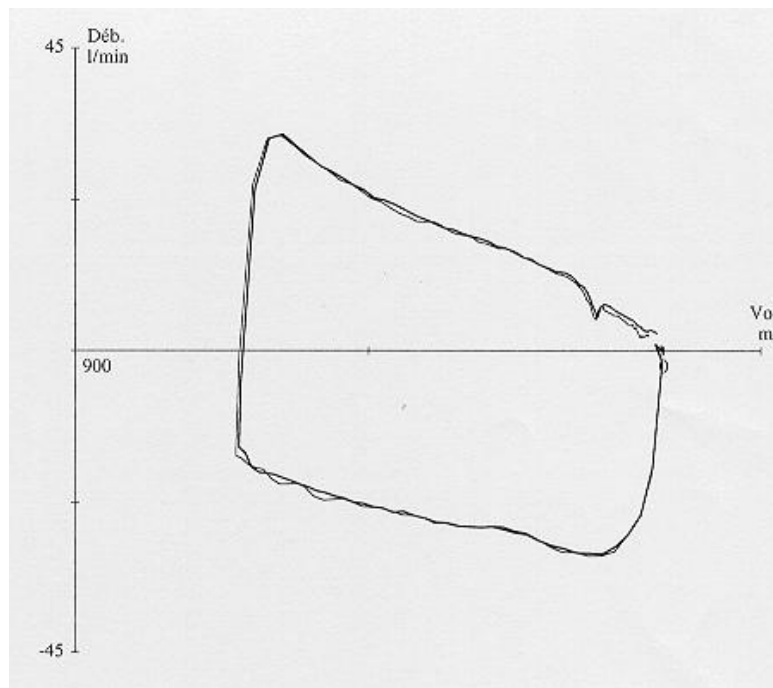


Figure 2.- Identification d'une auto PEP sur une courbe débit volume réalisée chez un patient atteint d'une BPCO sévère. En fin d'expiration, le débit expiratoire ne retourne pas à zéro.



References

1. Lagarde S, Semjen F, Nouette-Gaulain K, et al. Facemask pressure-controlled ventilation in children: what is the pressure limit? *Anesth Analg* 2010;110:1676-9.
2. von Goedecke A, Voelckel WG, Wenzel V, et al. Mechanical versus manual ventilation via a face mask during the induction of anesthesia: a prospective, randomized, crossover study. *Anesth Analg* 2004;98:260-3, table.
3. Bourgain JL, Chastre J, Combes X, Orliaguet G. Désaturation artérielle en oxygène et maintien de l'oxygénation pendant l'intubation : question 2. Société Française d'Anesthésie et de Réanimation. *Ann Fr Anesth Reanim* 2008;27:15-25.
4. Jaber S, Langlais N, Fumagalli B, et al. Etudes des performances de 6 nouvelles machines d'anesthésie. *Ann Fr Anesth Reanim* 2000;19:16-22.
5. Jaber S, Tassaux D, Sebbane M, et al. Performance characteristics of five new anesthesia ventilators and four intensive care ventilators in pressure-support mode: a comparative bench study. *Anesthesiology* 2006;105:944-52.
6. Suria S, Puizillout JM, Baguenard P, Bourgain JL. Défaut de réalisation de l'autotest de la machine d'anesthésie à l'ouverture de la salle d'opération. Étude des pratiques. *Ann Fr Anesth Reanim* 2010;29:874-7.
7. Bourgain JL, Baguenard P, Puizillout JM, et al. Enquête sur les pannes des appareils d'anesthésie. *Ann Fr Anesth Reanim* 1999;18:303-8.

8. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, et al. Re-expansion of atelectasis during general anaesthesia: a computed tomography study. *Br J Anaesth* 1993;71:788-95.
9. Svantesson C, Sigurdsson S, Larsson A, Jonson B. Effects of recruitment of collapsed lung units on the elastic pressure-volume relationship in anaesthetised healthy adults. *Acta Anaesthesiol Scand* 1998;42:1149-56.
10. Pelosi P, Gregoretti C. Perioperative management of obese patients. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2010;24:211-25.
11. Sykes MK, Lumley J. The effect of varying inspiratory: expiratory ratios on gas exchange during anaesthesia for open-heart surgery. *Br J Anaesth* 1969;41:374-80.
12. Battistella P, Delorme N, Sadoul P, Polu JM. Effet de la ventilation artificielle avec plateau de fin d'expiration sur les échanges gazeux et l'hémodynamique dans l'insuffisance respiratoire chronique. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1985;21:243-50.
13. Connors AF, Jr., McCaffree DR, Gray BA. Effect of inspiratory flow rate on gas exchange during mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1981;124:537-43.
14. Andersson B, Lundin S, Lindgren S, et al. End-expiratory lung volume and ventilation distribution with different continuous positive airway pressure systems in volunteers. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011;55:157-64.
15. De Oliveira GSJ, Ahmad S, Fitzgerald PC, McCarthy RJ. Detection of hypoventilation during deep sedation in patients undergoing ambulatory gynaecological hysteroscopy: a comparison between transcutaneous and nasal end-tidal carbon dioxide measurements. *Br J Anaesth* 2010;104:774-8.
16. Rappaport SH, Shpiner R, Yoshihara G, et al. Randomized, prospective trial of pressure-limited versus volume-controlled ventilation in severe respiratory failure. *Crit Care Med* 1994;22:22-32.
17. Natalini G, Facchetti P, Dicembrini MA, et al. Pressure controlled versus volume controlled ventilation with laryngeal mask airway. *J Clin Anesth* 2001;13:436-9.
18. Tugrul M, Camci E, Karadeniz H, et al. Comparison of volume controlled with pressure controlled ventilation during one-lung anaesthesia. *Br J Anaesth* 1997;79:306-10.
19. Keidan I, Berkenstadt H, Segal E, Perel A. Pressure versus volume-controlled ventilation with a laryngeal mask airway in paediatric patients. *Paediatr Anaesth* 2001;11:691-4.
20. Campbell RS, Davis BR. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation: does it matter? *Respir Care* 2002;47:416-24.
21. Goldmann K, Roettger C, Wulf H. Use of the ProSeal laryngeal mask airway for pressure-controlled ventilation with and without positive end-expiratory pressure in paediatric patients: a randomized, controlled study. *Br J Anaesth* 2005;95:831-4.
22. Coxon M, Sindhakar S, Hodzovic I. Autotriggering of pressure support ventilation during general anaesthesia. *Anaesthesia* 2006;61:72-3.
23. Drummond G. A response to 'autotriggering of pressure support ventilation during general anaesthesia'. *Anaesthesia* 2006;61:310.
24. Al Khafaji A, Alousi M, Cho SM. A response to 'Autotriggering of pressure support ventilation during general anaesthesia'. *Anaesthesia* 2006;61:619.
25. Uttman L, Jonson B. Computer-aided ventilator resetting is feasible on the basis of a physiological profile. *Acta Anaesthesiol Scand* 2002;46:289-96.

26. Sulzer CF, Chiolero R, Chassot PG, et al. Adaptive support ventilation for fast tracheal extubation after cardiac surgery: a randomized controlled study. *Anesthesiology* 2001;95:1339-45.
27. Bhatt SB, Chui PT, Gin T, et al. Pressure support ventilation during isoflurane anaesthesia. *Anaesthesia* 1995;50:1026-30.
28. Tanoubi I, Drolet P, Fortier LP, Donati F. Intérêt de la ventilation non invasive en pression positive au masque facial pour la préoxygénation chez le sujet sain : étude randomisée, en double insu, croisée. *Ann Fr Anesth Reanim* 2010;29:198-203.
29. Delay JM, Sebbane M, Jung B, et al. The effectiveness of noninvasive positive pressure ventilation to enhance preoxygenation in morbidly obese patients: a randomized controlled study. *Anesth Analg* 2008;107:1707-13.
30. Banchereau F, Herve Y, Quinart A, Cros AM. Pressure support ventilation during inhalational induction with sevoflurane and remifentanyl in adults. *Eur J Anaesthesiol* 2005;22:826-30.
31. von GA, Brimacombe J, Hormann C, et al. Pressure support ventilation versus continuous positive airway pressure ventilation with the ProSeal laryngeal mask airway: a randomized crossover study of anesthetized pediatric patients. *Anesth Analg* 2005;100:357-60.
32. Da Conceicao M, Favier JC, Bidallier I, et al. [Fiber-optic intubation with non-invasive ventilation with an endoscopic facial mask]. *Ann Fr Anesth Reanim* 2002;21:256-62.
33. Bourgain JL, Billard V, Cros AM. Pressure support ventilation during fiberoptic intubation under propofol anaesthesia. *Br J Anaesth* 2007;98:136-40.
34. Bonnet L, Billard V, Bourgain JL. Pressure support ventilation for emergency tracheotomy. *Br J Anaesth* 2006;96 suppl.
35. Brimacombe J, Keller C, Hormann C. Pressure support ventilation versus continuous positive airway pressure with the laryngeal mask airway: a randomized crossover study of anesthetized adult patients. *Anesthesiology* 2000;92:1621-3.
36. Yu G, Yang K, Baker AB, Young I. The effect of bi-level positive airway pressure mechanical ventilation on gas exchange during general anaesthesia. *Br J Anaesth* 2006;96:522-32.
37. Christie JM, Smith RA. Pressure support ventilation decreases inspiratory work of breathing during general anesthesia and spontaneous ventilation. *Anesth Analg* 1992;75:167-71.
38. Bosek V, Roy L, Smith RA. Pressure support improves efficiency of spontaneous breathing during inhalation anesthesia. *J Clin Anesth* 1996;8:9-12.
39. Warren J, Sharma SK. Ventilatory support using bilevel positive airway pressure during neuraxial blockade in a patient with severe respiratory compromise. *Anesth Analg* 2006;102:910-1.
40. van Zundert AA, Stultiens G, Jakimowicz JJ, et al. Segmental spinal anaesthesia for cholecystectomy in a patient with severe lung disease. *Br J Anaesth* 2006;96:464-6.
41. Lumb AB, Greenhill SJ, Simpson MP, Stewart J. Lung recruitment and positive airway pressure before extubation does not improve oxygenation in the post-anaesthesia care unit: a randomized clinical trial. *Br J Anaesth* 2010;104:643-7.
42. Chamchad D, Horrow JC, Nachamchik L, et al. The impact of immediate extubation in the operating room after cardiac surgery on intensive care and hospital lengths of stay. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2010;24:780-4.
43. Mandell MS, Campsen J, Zimmerman M, et al. The clinical value of early extubation. *Curr Opin Organ Transplant* 2009;14:297-302.

44. Allary J, Weil G, Bourgain JL. Impact de la prise en charge anesthésique sur la ventilation postopératoire en salle de surveillance postinterventionnelle. *Ann Fr Anesth Reanim* 2011, doi:10.1016/j.annfar.2011.03.009
45. Jaber S, Michelet P, Chanques G. Role of non-invasive ventilation (NIV) in the perioperative period. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2010;24:253-65.
46. Edmark L, Auner U, Enlund M, et al. Oxygen concentration and characteristics of progressive atelectasis formation during anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 2011;55:75-81.
47. Rothen HU, Neumann P, Berglund JE, et al. Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth* 1999;82:551-6.
48. Neumann P, Rothen HU, Berglund JE, et al. Positive end-expiratory pressure prevents atelectasis during general anaesthesia even in the presence of a high inspired oxygen concentration. *Acta Anaesthesiol Scand* 1999;43:295-301.
49. Pang CK, Yap J, Chen PP. The effect of an alveolar recruitment strategy on oxygenation during laparoscopic cholecystectomy. *Anaesth Intensive Care* 2003;31:176-80.
50. Pelosi P, Ravagnan I, Giurati G, et al. Positive end-expiratory pressure improves respiratory function in obese but not in normal subjects during anesthesia and paralysis. *Anesthesiology* 1999;91:1221-31.
51. Tusman G, Bohm SH, Tempra A, et al. Effects of recruitment maneuver on atelectasis in anesthetized children. *Anesthesiology* 2003;98:14-22.
52. Futier E, Constantin JM, Petit A, et al. Positive end-expiratory pressure improves end-expiratory lung volume but not oxygenation after induction of anaesthesia. *Eur J Anaesthesiol* 2010;27:508-13.
53. Coussa M, Proietti S, Schnyder P, et al. Prevention of atelectasis formation during the induction of general anesthesia in morbidly obese patients. *Anesth Analg* 2004;98:1491-5, table.
54. Whalen FX, Gajic O, Thompson GB, et al. The effects of the alveolar recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure on arterial oxygenation during laparoscopic bariatric surgery. *Anesth Analg* 2006;102:298-305.
55. Erlandsson K, Odenstedt H, Lundin S, Stenqvist O. Positive end-expiratory pressure optimization using electric impedance tomography in morbidly obese patients during laparoscopic gastric bypass surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006;50:833-9.
56. DeCastro V, Puizillout JM, Baguenard P, et al. Surveillance et impact budgétaire des pannes des appareils d'anesthésie. *Ann Fr Anesth Reanim* 2003;22:499-504.