

Nouveaux modes ventilatoires : PAV+ et NAVA

New ventilatory modes: PAV+ and NAVA

G. Carteaux · L. Brochard

Reçu le 28 septembre 2010 ; accepté le 26 octobre 2010
© SRLF Springer-Verlag France 2010

Résumé La PAV+ (*proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors*) et la NAVA (*neurally adjusted ventilatory assist*) sont deux nouveaux modes de ventilation qui délivrent une assistance proportionnelle à l'effort instantané du patient et à un facteur de proportionnalité réglé par le clinicien. Les signaux physiologiques utilisés afin de détecter l'effort du patient sont cependant très différents : la PAV+ délivre une pression proportionnelle aux volume et débit instantanés et à la charge imposée au système respiratoire ; en NAVA, la pression délivrée est proportionnelle à l'activité électrique du diaphragme recueillie au moyen d'un cathéter œsophagien muni d'électrodes. Dans les deux cas, le caractère proportionnel de l'assistance entraîne une amélioration des interactions patient–ventilateur par différents mécanismes : le ventilateur s'adapte mieux à la demande instantanée du patient, le patient modifie très rapidement son effort en fonction du niveau d'assistance afin de maintenir un volume courant désiré, la variabilité naturelle cycle à cycle est respectée, enfin le cyclage expiratoire est proche du temps inspiratoire neural du patient. Le risque d'hyperinflation dynamique est alors limité et les asynchronies sont rares. De plus, chaque mode permet des interactions et des modalités de monitoring du couplage neuroventilatoire supplémentaires propres à son fonctionnement. Cependant, bien que ces modes soient prometteurs et suscitent un intérêt croissant, la manière de les régler reste encore un sujet d'investigation. Ils devront, par ailleurs, montrer leur bénéfice en clinique au cours d'essais randomisés avant d'envisager leur diffusion. **Pour citer cette revue : *Réanimation* 20 (2011).**

Mots clés Ventilation assistée proportionnelle · Ventilation assistée neurale · Ventilation spontanée en aide inspiratoire

G. Carteaux (✉) · L. Brochard
Service de réanimation médicale, hôpital Henri-Mondor,
51, avenue du Maréchal-de-Lattre-de-Tassigny, F-94010 Créteil,
France
e-mail : guillaume.carteaux@yahoo.fr

Inserm U955, équipe 13, faculté de médecine, Créteil, France

Abstract *Proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors (PAV+)* and *neurally adjusted ventilatory assist (NAVA)* are new ventilatory modes where assistance is delivered in proportion to the instantaneous respiratory effort and to a proportionality factor set by the clinician. However, the physiological signal used by the ventilator to detect the patient's effort is different between these two modes. PAV+ delivers assistance in proportion to instantaneous flow as well as volume and respiratory load. In NAVA, the airway pressure is provided in proportion to diaphragm electrical activity, recorded using an esophageal catheter with an electrode array. The proportionality of the assistance allows an improvement in patient–ventilator interactions with both modes, due to several mechanisms: the ventilator adapts the amount of pressure delivered according to the instantaneous patient's demand, the patient rapidly adjusts his own effort to receive a target tidal volume, the natural respiratory variability is respected, and the cycling off is closed to the neural inspiratory time. In these conditions, dynamic hyperinflation cannot occur and there are few patient–ventilator asynchronies. Furthermore, according to their properties of functioning, each mode allows additional interactions and neuro-ventilator coupling monitoring. However, although these modes are promising, how to adjust the proportionality factor is still a matter of research. These ventilatory modes must also demonstrate their benefit in clinical randomized trials before being considered for a widespread clinical use. **To cite this journal: *Réanimation* 20 (2011).**

Keywords Proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors · Neurally adjusted ventilator assist · Assisted mechanical ventilation

Introduction

La PAV+ (*proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors* ou ventilation assistée proportionnelle avec mesure automatisée de la mécanique respiratoire) et la NAVA (*neurally adjusted ventilatory assist* ou ventilation assistée neurale, ou neuroasservissement de la

ventilation) sont deux modes de ventilation récemment décrits [1,2] qui ont en commun de délivrer une assistance proportionnelle à l'effort instantané du patient (Fig. 1). Ainsi, à la différence de la ventilation spontanée avec aide inspiratoire (VSAI), où la pression d'insufflation est identique à chaque cycle respiratoire, l'assistance délivrée en PAV+ (*proportional assist ventilation*) et en NAVA est variable cycle à cycle. Ces deux modes ont donc une boucle de contrôle très rapide dans le cycle, de l'ordre de quelques millisecondes, qui ajuste en permanence la pression délivrée en fonction du niveau d'effort respiratoire détecté et d'un facteur de proportionnalité réglé par le clinicien. Cependant, en PAV+ et en NAVA, les signaux physiologiques utilisés pour détecter l'effort du patient sont radicalement différents [1,2].

Bien que l'expérience clinique de l'utilisation de ces modes soit encore insuffisante, le caractère proportionnel de l'assistance qu'ils délivrent, comme leurs particularités de fonctionnement propre ont été explorés au cours d'études physiologiques et permettent de repenser complètement les interactions patient-ventilateur. Chaque mode sera abordé successivement. Leurs principes de fonctionnement seront décrits, car ils doivent être connus afin d'appréhender leur intérêt physiologique et leurs possibles applications cliniques. Enfin, une synthèse des particularités communes de ces deux modes au regard des interactions patient-ventilateur et de l'évolution de la ventilation assistée sera proposée.

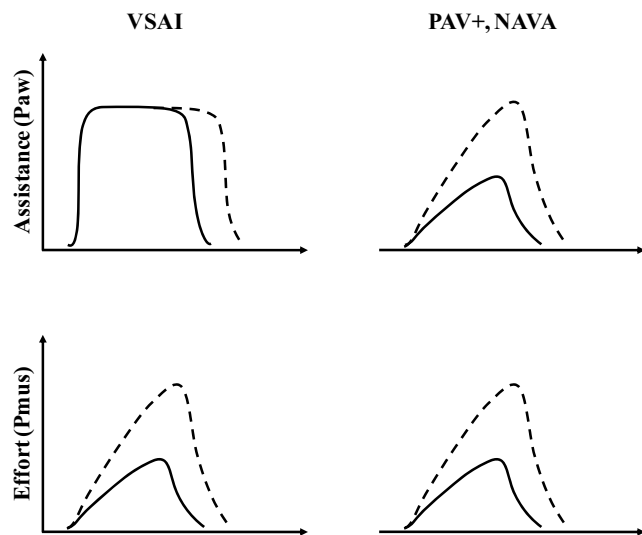


Fig. 1 Principe de la ventilation proportionnelle. Les courbes représentent en bas la pression des muscles respiratoires à deux efforts différents (trait plein et trait pointillé), en haut la pression délivrée par le ventilateur pour chaque effort. En VSAI, la pression délivrée est constante tout au long du cycle respiratoire quel que soit l'effort. En ventilation proportionnelle (PAV+, NAVA), la pression délivrée est à chaque instant proportionnelle à l'effort. Ainsi, lorsque l'effort est plus important, la pression délivrée est plus importante

PAV+

Principe de fonctionnement de la PAV+

La PAV+ est actuellement disponible sur le ventilateur Puritan-Bennett 840 (Covidien®). Elle est héritée de la PAV qui a été décrite quelques années seulement après la VSAI [3]. Bien qu'elles aient suscité un vif intérêt physiologique, la complexité des réglages et la nécessité de mesures répétées de la mécanique respiratoire ont considérablement limité sa diffusion. Le mode PAV+ en est une évolution semi-automatisée, qui la rend utilisable en pratique clinique tout en la simplifiant [4].

Le fonctionnement de la PAV+ est fondé sur l'équation de mouvement du système respiratoire. Cette équation relie à chaque instant du cycle le débit et le volume qui entrent dans le système à la pression totale nécessaire, liée à la mécanique respiratoire :

$$P_{\text{tot}} = P_0 + R \cdot V' + E \cdot V \quad (\text{équation 1})$$

où P_{tot} : pression totale (cmH₂O) ; P_0 : pression de départ (cmH₂O) ; R : résistance (cmH₂O/l par seconde) ; E : élastance (cmH₂O/L) ; V' : débit dans les voies aériennes (l/s) ; V : volume (L).

Au cours de la ventilation assistée, cette pression totale est l'addition de la pression des voies aériennes (P_{aw}), qui est la pression d'assistance délivrée par le ventilateur, et de la pression musculaire (P_{mus}) générée par les muscles respiratoires du patient :

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{aw}} + P_{\text{mus}} \quad (\text{équation 2})$$

Le principe de la PAV+ est le suivant : le ventilateur mesure de manière automatisée l'élastance et la résistance du système respiratoire au moyen de micro-occlusions téléinspiratoires de 300 millisecondes. Ces mesures sont mises à jour tous les quatre à dix cycles de manière randomisée. L'élastance et la résistance du système étant connues, le ventilateur, en mesurant les débits et volumes instantanés, peut calculer à chaque instant la valeur de la pression totale (équation 1). L'assistance délivrée est alors un pourcentage de la pression totale, et ce pourcentage correspond au gain réglé par le clinicien :

$$P_{\text{aw}} = \text{Gain} \cdot (R \cdot V' + E \cdot V) = \text{Gain} \cdot P_{\text{tot}} \quad (\text{équation 3}).$$

($Rq : P_0$, qui est un facteur fixe, est considérée nulle ici pour simplifier l'équation).

Ainsi, en PAV+, l'assistance est proportionnelle aux débit et volume instantanés et à la charge imposée au système, donc à la pression totale (Tableau 1). Le facteur de proportionnalité est le gain réglé par le clinicien qui correspond au pourcentage de la pression totale prise en charge par le ventilateur (équation 3), le reste étant pris en charge par les muscles respiratoires du patient (équation 2). Ainsi, en combinant les équations 2 et 3 on obtient :

$$P_{\text{aw}} = (\text{Gain}/[1 - \text{Gain}]) \cdot P_{\text{mus}} \quad (\text{équation 4})$$

	Déclenchement (trigger)	Contrôle	Cyclage	Niveau d'expiration
VSAI	Débit ou pression	Pression constante	Pourcentage du débit de pointe	PEP
PAV+	Débit	Pression proportionnelle aux débit et volume instantanés	Fin du débit patient	PEP
NAVA	EAdi ou débit	Pression proportionnelle à l'EAdi	80 % du pic EAdi	PEP

VSAI : ventilation spontanée avec aide inspiratoire ; PAV+ : *proportional assist ventilation* ; NAVA : *neurally adjusted ventilatory assist* ; PEP : pression expiratoire positive ; EAdi : activité électrique du diaphragme

La pression des voies aériennes délivrée par le ventilateur en PAV+ est donc directement proportionnelle à la pression musculaire instantanée du patient, et c'est là tout le sens de la ventilation proportionnelle (Fig. 2). Le seul facteur de proportionnalité intervenant dans l'équation est le gain réglé par le clinicien.

Ainsi, par exemple :

Si Gain = 50 % alors $P_{aw} = P_{mus} = 50\%$ de la pression totale. Le ventilateur et les muscles respiratoires prennent chacun en charge 50 % de la pression totale. Si Gain = 75 % alors $P_{aw} = 3$ et $P_{mus} = 75\%$ de la pression totale. Le ventilateur assume 75 % de la pression totale et les muscles respiratoires 25 %.

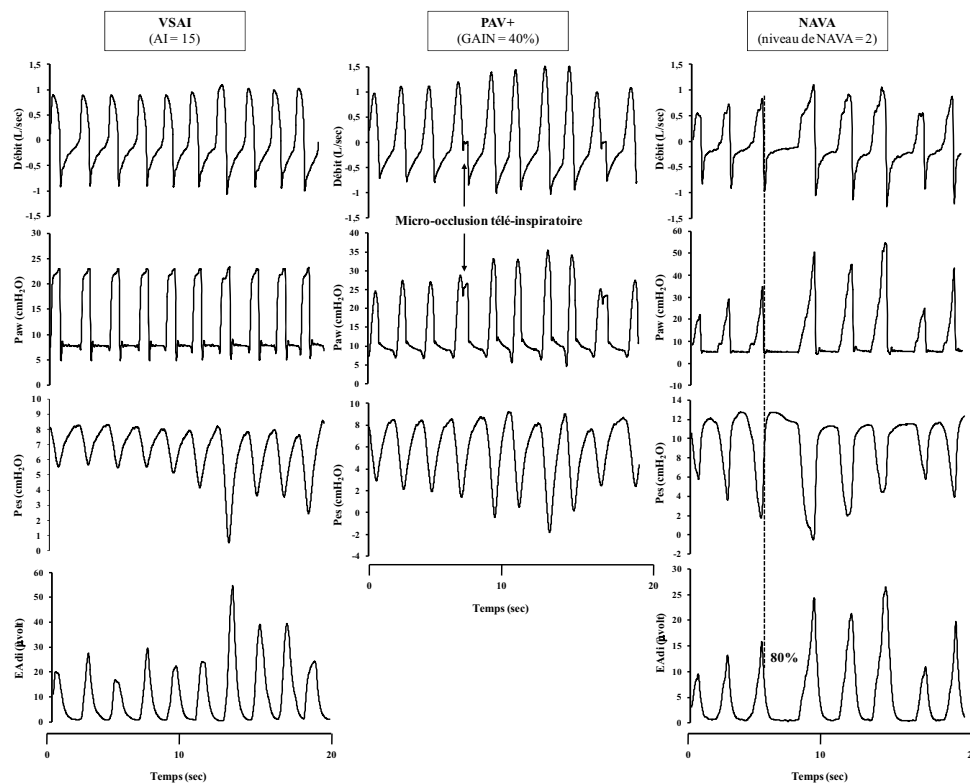


Fig. 2 Enregistrements de signaux physiologiques réalisés en VSAI, en PAV+ et en NAVA chez des patients de réanimation. Les courbes représentent de haut en bas le débit des voies aériennes, la pression des voies aériennes (Paw), la pression œsophagienne (Pes), l'activité électrique du diaphragme (EAdi). La PAV+ est disponible sur un ventilateur qui ne permet pas le recueil de l'EAdi. En VSAI, la pression délivrée par le ventilateur est identique quel que soit l'effort du patient, représenté par la pression œsophagienne ou l'EAdi. En PAV+, la pression délivrée est proportionnelle à l'intensité de l'effort du patient, visualisée sur la courbe de pression œsophagienne. Par ailleurs, on note les micro-occlusions téléinspiratoires qui permettent au ventilateur la mesure automatisée de l'élastance et de la résistance du système. En NAVA, la pression délivrée est superposable, car directement proportionnelle, à l'EAdi. L'insufflation se termine à 80 % du pic de l'EAdi. En PAV+ et en NAVA, l'assistance est donc variable cycle à cycle et dépend de l'effort instantané du patient

La boucle de contrôle est de l'ordre de quelques millisecondes, permettant un ajustement de la P_{aw} tout au long du cycle respiratoire (Figs. 1,2).

En PAV+, le trigger inspiratoire est un trigger classique en débit avec ses limites habituelles. Le cyclage expiratoire, c'est-à-dire la fin de l'insufflation, se produit lorsqu'il n'y a plus de débit inspiratoire du patient, donc juste à la fin de l'effort inspiratoire (Tableau 1). Ainsi, le cyclage en PAV+ est théoriquement parfait. Des modélisations mathématiques démontrent que dans les gammes de mécanique respiratoire retrouvées en clinique, les gains utilisés et la rapidité de la boucle de contrôle constatée, ce cyclage est effectivement excellent [5].

Enfin, en dehors du gain et du trigger inspiratoire, le clinicien règle une pression expiratoire positive (PEP) et une FiO_2 .

Évaluation physiologique de la PAV+

Peu d'études physiologiques sont disponibles en PAV+, mais de nombreuses études réalisées en PAV sont transposables à la PAV+.

Interactions patient-ventilateur lors d'une modification du gain en PAV+

Au cours de la ventilation assistée, l'augmentation du niveau d'assistance entraîne une diminution de l'effort respiratoire du patient [6]. Or, en PAV+, la pression délivrée par le ventilateur est justement proportionnelle à cet effort respiratoire. Ainsi, au cours de l'augmentation du gain en PAV+, l'effort du patient diminuant, la pression des voies aériennes et donc le volume courant augmentent peu ou pas [7,8]. Cette faible modification du volume courant en réponse à une modification du niveau d'assistance est un des phénomènes physiologiques les plus remarquables en ventilation proportionnelle. Tout se passe donc comme si le patient « choisissait » son volume courant et adaptait son effort en fonction de l'assistance délivrée afin de le maintenir [8]. Cette situation est évidemment différente de la VSAI où le volume courant augmente progressivement avec l'augmentation de l'assistance [7].

Par ailleurs, le cyclage expiratoire survenant à la fin de l'effort inspiratoire du patient, l'augmentation du niveau d'assistance n'entraîne pas d'augmentation du temps d'insufflation au-delà du temps inspiratoire du patient comme cela est observé en VSAI [7].

Ces deux phénomènes, proportionnalité de l'assistance qui permet au patient d'adapter son effort afin de recevoir le volume courant désiré et qualité du cyclage expiratoire, limitent considérablement le risque de surdistension et d'hyperinflation dynamique, principales causes de survenue d'asynchronies patient-ventilateur au cours de l'augmenta-

tion de l'assistance en VSAI [9,10]. Il n'est donc pas surprenant que l'incidence rapportée des asynchronies patient-ventilateur soit beaucoup plus faible en PAV+ qu'en VSAI [7,11].

Interactions patient-ventilateur lors d'une modification des conditions de charge

Des auteurs ont comparé l'adaptabilité du ventilateur à des modifications des conditions de charge du système respiratoire en PAV+ et en VSAI [12]. Lors de l'augmentation brutale et artificielle de l'élastance du système respiratoire (sacs de sable posés sur le thorax par exemple), le ventilateur s'adaptait mieux en PAV+ comparativement à la VSAI. En effet, les indices d'effort respiratoire augmentaient moins en PAV+ qu'en VSAI. Par ailleurs, alors que le volume courant diminuait et la fréquence respiratoire augmentait afin de maintenir une ventilation minute identique en VSAI, ils étaient peu modifiés en PAV+.

Sommeil en PAV+

Bosma et al. ont décrit un sommeil de meilleure qualité en PAV par rapport à la VSAI [13]. Dans cette étude, le nombre de réveils était corrélé avec les asynchronies patient-ventilateur. Par ailleurs, Alexopoulou et al. ont récemment démontré que les micro-occlusions téléinspiratoires en PAV+, nécessaires à la mesure de la mécanique respiratoire, ne perturbaient pas le sommeil [14].

Confort en PAV+

Le comportement plus physiologique de la PAV+ pourrait expliquer l'observation d'indices de confort meilleurs en PAV qu'en VSAI chez des patients BPCO [15].

PAV+ en pratique clinique

Faisabilité

Une seule évaluation clinique de la PAV+ est à ce jour disponible [11]. Xirouchaki et al. ont randomisé des patients pour être ventilés 48 heures soit en PAV+, soit en VSAI. À 48 heures, l'échec de la ventilation spontanée (défini comme l'échec de la ventilation assistée ou de l'extubation) était plus important en VSAI qu'en PAV+. De plus, moins d'asynchronies étaient observées en PAV+. Cette étude démontre la faisabilité du mode et son intérêt potentiel.

Indications potentielles de la PAV+

En cas de bénéfice reconnu, les indications de ce mode pourraient recouvrir la quasi-totalité des indications de la

ventilation assistée. Cependant, la présence de fuite (fistule bronchopleurale par exemple), une atteinte sévère des muscles respiratoires ainsi qu'une respiration neurologique pourraient en constituer les principales contre-indications.

Réglage du gain

Il n'existe pas à ce jour de recommandation concernant le réglage du gain en PAV+. L'algorithme proposé par Xirouchaki et al., s'il permet d'envisager toutes les situations cliniques, semble trop complexe pour être utilisé en routine [11]. Une manière de tirer profit du fonctionnement physiologique de ce mode serait de régler le gain afin de maintenir le patient dans une zone d'effort respiratoire jugée normale. En effet, en PAV+, puisque l'assistance délivrée est proportionnelle à la pression musculaire et au gain, il est à l'inverse possible de calculer la pression musculaire à partir du gain et de la pression des voies aériennes mesurée [16]. La PAV+ offre donc pour la première fois en ventilation assistée la possibilité de monitorer un indice reproductible d'effort respiratoire. Dans notre expérience, une telle modalité de réglage du gain est à la fois simple à réaliser et suffisante pour conduire le sevrage en PAV+ [16]. Néanmoins, sa pertinence clinique devra être évaluée au cours d'essais randomisés.

NAVA

Principe de fonctionnement de la NAVA

La NAVA est actuellement disponible sur le ventilateur Servoi (Maquet®). La description princeps de ce mode remonte à 1999 [1], mais sa commercialisation est récente. À la différence de l'ensemble des modes de ventilation assistée, son fonctionnement n'est pas basé sur la mesure de signaux de débit ou de pression, mais sur celle de l'activité électrique du diaphragme (EAdi), qui est un signal traité de l'électromyogramme du diaphragme (EMGdi). Ce signal est obtenu à l'aide d'électrodes placées sur l'extrémité distale d'un cathéter œsophagien et positionnées en regard du diaphragme crural [1] (Fig. 3). Le signal d'EMGdi brut obtenu à partir des électrodes est filtré, traité et intégré. Il en résulte l'EAdi, qui est un signal électrique dont la valeur est à chaque instant corrélée à la pression musculaire générée [17]. En NAVA, l'assistance délivrée par le ventilateur est directement proportionnelle à l'EAdi et le facteur de proportionnalité, appelé niveau de NAVA, est réglé par le clinicien :

$$P_{aw}(\text{cmH}_2\text{O}) = \text{Niveau de NAVA} (\text{cmH}_2\text{O}/\mu\text{volt}) \times \text{EAdi} (\mu\text{volt})$$

Le trigger inspiratoire en NAVA est soit neural (seuil d'EAdi), soit en débit. Le premier trigger atteint, en fonction des sensibilités réglées, déclenche le cycle. Le cyclage, c'est-

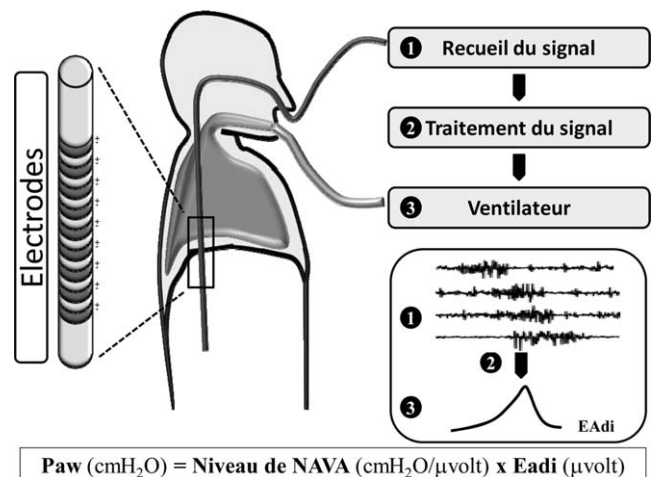


Fig. 3 Principe de fonctionnement de la NAVA. Des électrodes positionnées sur un cathéter œsophagien en regard du diaphragme crural recueillent un signal d'électromyogramme du diaphragme. Ce signal est filtré, traité, intégré afin d'obtenir un tracé d'activité électrique du diaphragme (EAdi) en μvolt . La pression délivrée par le ventilateur est directement proportionnelle à l'EAdi et à un gain, le niveau de NAVA (en $\text{cmH}_2\text{O}/\mu\text{volt}$), réglé par le clinicien

à-dire la fin de l'insufflation, se produit à 80 % du pic d'EAdi, il est donc défini sur le temps inspiratoire neural du patient et n'est pas influencé par le niveau d'assistance (Tableau 1, Fig. 2). D'une manière pratique, le cathéter œsophagien correspond à une sonde gastrique d'alimentation d'où sort une connectique supplémentaire, reliée aux électrodes distales, qui se branche à un module disponible en option sur le ventilateur Servoi. Un algorithme permettant de placer correctement le cathéter est disponible sur l'écran du ventilateur et nécessite un bref apprentissage [18].

En dehors du niveau de NAVA et du trigger inspiratoire, le clinicien ajuste aussi une PEP et une FiO_2 . Notons enfin qu'en cas de perte du signal EAdi (mobilisation non intentionnelle du cathéter œsophagien par exemple), le ventilateur passe automatiquement en mode VSAI sans interruption de la ventilation.

Exploration physiologique de la NAVA

Intérêt d'une ventilation synchronisée sur l'EAdi

L'assistance étant proportionnelle à l'activité électrique du diaphragme, la NAVA s'affranchit des contraintes de la mécanique respiratoire pour fonctionner. Ainsi, la PEP intrinsèque n'est plus un obstacle au déclenchement du ventilateur par un trigger neural et la synchronisation patient-ventilateur est théoriquement quasi parfaite. Les études ayant comparé la synchronisation patient-ventilateur en NAVA et en VSAI retrouvent en NAVA une incidence

d'asynchronies soit nulle [19,20], soit plus faible qu'en VSAI et indépendante du niveau d'assistance [21].

La NAVA, comme la PAV+, est une ventilation proportionnelle à l'effort instantané du patient bénéficiant par ailleurs d'un cyclage expiratoire synchrone à la fin de l'inspiration neurale quel que soit le niveau d'assistance [20]. Au cours d'une augmentation du niveau de NAVA, du fait du rétrocontrôle négatif sur la commande ventilatoire, l'EAdi diminue et donc la pression d'assistance et le volume qui en résulte n'augmentent pas ou peu, de la même manière qu'en PAV+ [19,21,22]. Ainsi, il n'existe pas de risque de surdistension en NAVA, même pour des efforts volontaires à des niveaux de NAVA élevés [23].

Terzi et al. ont évalué l'impact respectif du trigger neural et de l'assistance proportionnelle en NAVA sur la synchronisation patient-ventilateur [21]. Les auteurs ont comparé la survenue d'asynchronies au cours d'une augmentation de l'assistance avec l'utilisation de trois modalités ventilatoires : en NAVA avec un trigger neural, en NAVA avec un trigger en débit et en VSAI. Les asynchronies patient-ventilateur survenaient lors de l'augmentation de l'assistance en VSAI, mais pas en NAVA, quel que soit le trigger. Ainsi, le caractère proportionnel de l'assistance et la qualité du cyclage semblent être les éléments essentiels de l'amélioration des interactions patient-ventilateur en NAVA.

Interactions patient-ventilateur lors d'une modification du niveau de NAVA

Évolution du volume courant

En NAVA comme en PAV+, le caractère proportionnel de l'assistance rend le patient « maître » de son volume courant qui est peu influencé par le niveau de NAVA. Les évaluations réalisées sur des modèles animaux de syndrome de détresse respiratoire aiguë semblent indiquer que les sujets « choisissent » spontanément un volume courant protecteur pour le poumon [24].

Chez des patients de réanimation en insuffisance respiratoire aiguë, la réponse en volume à une augmentation titrée du niveau de NAVA doit être nuancée. Brander et al. ont décrit une réponse en deux temps : une augmentation progressive du volume courant avec l'augmentation de l'assistance pour les bas niveaux de NAVA, puis une phase de plateau où le volume courant n'augmente plus avec l'augmentation du niveau de NAVA [25]. La première phase est interprétée par les auteurs comme une zone de sous-assistance où le patient est « en attente » de plus de ventilation, car le niveau d'assistance ne lui permet pas d'atteindre le volume courant désiré. Au cours de la deuxième phase, le volume courant « cible » du patient est atteint et celui-ci diminue alors son effort respiratoire au cours de l'augmentation de l'assistance afin de maintenir ce volume courant.

Cette observation est à la base d'une proposition d'ajustement du niveau de NAVA par les auteurs.

• Variabilité respiratoire

La proportionnalité de l'assistance au signal neural de la commande ventilatoire permet théoriquement le respect de la variabilité naturelle du système respiratoire. En effet, la respiration présente naturellement une variabilité importante cycle à cycle. Au cours de modèles expérimentaux, la restauration artificielle d'une telle variabilité améliore l'hématose [26], la mécanique respiratoire et les dommages histologiques liés à la ventilation [27]. Schmidt et al. ont évalué la variabilité et la complexité du système respiratoire en VSAI et à quatre niveaux de NAVA [28]. La variabilité comme la complexité étaient nettement supérieures en NAVA comparativement à la VSAI et augmentaient à chaque niveau de NAVA. À l'extrême, Brander et al. ont rapporté la survenue d'une variabilité excessive, mimant une dyspnée de Cheyne Stokes, au cours de l'augmentation importante du niveau de NAVA, ce qui pourrait être interprété comme un signe de surassistance en NAVA [24,29].

NAVA en pratique clinique

Faisabilité

L'expérience clinique de la NAVA est extrêmement limitée, la durée de ventilation la plus longue rapportée dans la littérature étant à ce jour de 24 heures [30]. Certaines questions restent donc à évaluer concernant la faisabilité du mode en pratique clinique, en particulier la stabilité du signal EAdi et l'intégrité des électrodes œsophagiennes au cours du temps.

Indications potentielles

Les champs d'application possibles de la NAVA sont multiples : le sevrage ventilatoire, du fait d'une amélioration des interactions patient-ventilateur [19-21], l'*acute lung injury*, voire le SDRA du fait du « choix » par le patient du volume courant permettant une ventilation protectrice [24], et la néonatalogie où la NAVA pourrait apporter des solutions à des conditions de ventilation difficiles [31].

Par ailleurs, la disponibilité de l'EAdi sur l'écran du ventilateur laisse envisager un champ d'investigation nouveau concernant le monitoring du couplage neuroventilatoire au cours de la ventilation assistée.

Réglage du niveau de NAVA

Le réglage du niveau de NAVA en pratique clinique est encore l'objet de recherches. Le ventilateur Servo autorise un niveau de NAVA de 0,1 à 30 cmH₂O.μvolt⁻¹, ce qui est

surprenant, car il est probablement exceptionnel qu'un patient nécessite un niveau de NAVA supérieur à 5. En NAVA, il n'est pas possible d'estimer directement l'effort du patient à partir de l'EAdi. En effet, si l'EAdi est proportionnelle à la pression musculaire du patient, ce rapport de proportionnalité varie d'un patient à l'autre et avec le positionnement du cathéter œsophagien [17]. Il est donc impossible de définir une zone d'EAdi cible pour ajuster le niveau de NAVA. Brander et al. ont proposé de définir le niveau de NAVA idéal pour un patient à l'aide d'une titration de l'assistance [25]. Le niveau idéal serait celui où débute la phase de plateau du volume courant, c'est-à-dire, selon les auteurs, la zone d'assistance suffisante au patient pour atteindre son volume courant désiré. Cependant, cette réponse biphasique de l'évolution du volume courant au cours d'une titration de l'assistance en NAVA n'a pas encore été reproduite par d'autres équipes. Par ailleurs, cette méthode est longue et difficile à répéter. Or, le patient peut nécessiter un niveau d'assistance différent au cours du temps.

Le ventilateur propose une manière simple de régler le niveau de NAVA, utilisé par certains auteurs [19] : au cours de la VSAI une fonctionnalité permet d'afficher le niveau de NAVA qui produirait la même pression d'assistance. Cependant, cette méthode peut paraître décevante, car elle s'affranchit des possibilités de personnaliser l'assistance par l'exploitation des propriétés physiologiques de la NAVA. L'analyse de la variabilité pourrait s'avérer être une piste intéressante. Une variabilité excessive semble en particulier être le reflet d'une assistance excessive [25]. Au total, dans notre expérience et d'après les données disponibles, il semble que dans la majorité des cas le niveau de NAVA jugé idéal pour un patient se situe entre 1 et 3 $\text{cmH}_2\text{O} \cdot \mu\text{volt}^{-1}$ [29].

PAV+ et NAVA : deux assistances proportionnelles... différentes

La PAV+ et la NAVA présentent des caractéristiques communes. En délivrant une assistance proportionnelle à l'effort instantané du patient, elles améliorent considérablement les interactions patient–ventilateur : le patient « choisit » son volume courant et il n'existe pas de surdistension aux niveaux d'assistance élevés, la variabilité spontanée du système respiratoire est respectée, le cyclage se fait à la fin du temps inspiratoire neural quel que soit le niveau d'assistance. Comparativement à la VSAI, les asynchronies patient–ventilateur sont ainsi fortement diminuées [7,11,19–21].

La variabilité cycle à cycle et l'absence de contrôle sur le volume courant nécessiteront un apprentissage des modalités de surveillance des patients et de la gestion des alarmes.

Cependant, ces deux modes offrent aussi des possibilités nouvelles de monitoring et d'exploration du couplage neuroventilatoire : la NAVA affiche en permanence la valeur

de l'EAdi, la PAV+ permet de calculer des indices d'effort reproductibles comme la pression musculaire des muscles respiratoires.

Les signaux physiologiques sur lesquels se basent ces deux modes pour délivrer l'assistance sont néanmoins très différents : la PAV+, qui délivre une pression proportionnelle aux débit et volume instantanés et à la charge imposée au système, se comporte comme un amplificateur des muscles respiratoires ; la NAVA, qui délivre une pression proportionnelle à l'activité électrique du diaphragme, se comporte plutôt comme un muscle respiratoire accessoire. À ce jour, aucune étude n'a comparé directement ces deux modes ventilatoires et il est impossible de déterminer quelle modalité de fonctionnement permet les meilleures interactions patient–ventilateur. La NAVA a pour elle un trigger neural, mais son importance dans les interactions patient–ventilateur semble limitée au regard de la proportionnalité de l'assistance [21], et il n'est pas certain que la réponse en NAVA à une modification brutale des conditions de charge soit équivalente à celle de la PAV+. Par ailleurs, la PAV+ a un temps d'avance dans la démonstration de sa faisabilité et les données concernant la stabilité du signal EAdi en NAVA sont encore incertaines.

Le réglage des gains en PAV+ comme en NAVA fait encore l'objet de recherches. Si les efforts actuels dans la définition de règles d'ajustement de ces gains, qui visent d'une part à tirer bénéfice du fonctionnement de ces modes afin de personnaliser l'assistance en fonction des besoins propres à chaque patient et d'autre part à rendre ces règles les plus simples possibles, sont couronnés de succès, la PAV+ et la NAVA pourraient avoir une importance grandissante dans l'avenir de la ventilation assistée. Cependant, avant d'envisager leur diffusion, ces modes devront être évalués en pratique clinique et comparés aux modalités ventilatoires actuellement répandues.

Conclusion

La PAV+ et la NAVA sont deux modes ventilatoires de description récente qui délivrent une assistance proportionnelle à l'effort instantané du patient. Cette modalité de ventilation, beaucoup plus physiologique, améliore nettement les interactions patient–ventilateur en comparaison à la VSAI. Bien que ces modes soient prometteurs, la manière de les régler doit encore être clarifiée et leur bénéfice clinique potentiel démontré.

Conflit d'intérêt : Le Pr Brochard dirige une unité de recherche ayant reçu des subventions de recherche de la part des sociétés Covidien et Maquet

Références

- Sinderby C, Navalesi P, Beck J, et al (1999) Neural control of mechanical ventilation in respiratory failure. *Nat Med* 5:1433–6
- Younes M, Kun J, Masiowski B, et al (2001) A method for non-invasive determination of inspiratory resistance during proportional assist ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 163:829–39
- Younes M (1992) Proportional assist ventilation: a new approach to ventilatory support. *Theory. Am Rev Respir Dis* 145:114–20
- Younes M, Webster K, Kun J, et al (2001) A method for measuring passive elastance during proportional assist ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 164:50–60
- Du HL, Yamada Y (2005) Expiratory asynchrony. *Respir Care Clin N Am* 11:265–80
- Brochard L, Harf A, Lorino H, Lemaire F (1989) Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 139:513–21
- Giannouli E, Webster K, Roberts D, Younes M (1999) Response of ventilator-dependent patients to different levels of pressure support and proportional assist. *Am J Respir Crit Care Med* 159:1716–25
- Marantz S, Patrick W, Webster K, et al (1996) Response of ventilator-dependent patients to different levels of proportional assist. *J Appl Physiol* 80:397–403
- Thille AW, Cabello B, Galia F, et al (2008) Reduction of patient-ventilator asynchrony by reducing tidal volume during pressure-support ventilation. *Intensive Care Med* 34:1477–86
- Younes M, Kun J, Webster K, Roberts D (2002) Response of ventilator-dependent patients to delayed opening of exhalation valve. *Am J Respir Crit Care Med* 166:21–30
- Xirouchaki N, Kondili E, Vaporidi K, et al (2008) Proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors in critically ill patients: comparison with pressure support. *Intensive Care Med* 34:2026–34
- Kondili E, Prinianakis G, Alexopoulou C, et al (2006) Respiratory load compensation during mechanical ventilation: proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors versus pressure support. *Intensive Care Med* 32:692–9
- Bosma K, Ferreya G, Ambrogio C, et al (2007) Patient-ventilator interaction and sleep in mechanically ventilated patients: pressure support versus proportional assist ventilation. *Crit Care Med* 35:1048–54
- Alexopoulou C, Kondili E, Vakouti E, et al (2007) Sleep during proportional-assist ventilation with load-adjustable gain factors in critically ill patients. *Intensive Care Med* 33:1139–47
- Wysocki M, Richard JC, Meshaka P (2002) Non-invasive proportional assist ventilation compared with noninvasive pressure support ventilation in hypercapnic acute respiratory failure. *Crit Care Med* 30:323–9
- Carteaux G, Mancebo J, Mercat A, et al (2010) An algorithm to adjust the percentage of assistance in PAV+ based on an estimation of the patient's respiratory effort. [Abstract] *Am J Respir Crit Care Med* 181:A4085
- Beck J, Gottfried SB, Navalesi P, et al (2001) Electrical activity of the diaphragm during pressure support ventilation in acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 164:419–24
- Barwing J, Ambold M, Linden N, et al (2009) Evaluation of the catheter positioning for neurally adjusted ventilatory assist. *Intensive Care Med* 35:1809–14
- Colombo D, Cammarota G, Bergamaschi V, et al (2008) Physiologic response to varying levels of pressure support and neurally adjusted ventilatory assist in patients with acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 34:2010–8
- Spahija J, de Marchie M, Albert M, et al (2010) Patient-ventilator interaction during pressure support ventilation and neurally adjusted ventilatory assist. *Crit Care Med* 38:518–26
- Terzi N, Pelieu I, Guittet L, et al (2010) Neurally adjusted ventilatory assist in patients recovering spontaneous breathing after acute respiratory distress syndrome: physiological evaluation. *Crit Care Med* 38:1830–7
- Allo JC, Beck JC, Brander L, et al (2006) Influence of neurally adjusted ventilatory assist and positive end-expiratory pressure on breathing pattern in rabbits with acute lung injury. *Crit Care Med* 34:2997–3004
- Sinderby C, Beck J, Spahija J, et al (2007) Inspiratory muscle unloading by neurally adjusted ventilatory assist during maximal inspiratory efforts in healthy subjects. *Chest* 131:711–7
- Brander L, Sinderby C, Lecomte F, et al (2009) Neurally adjusted ventilatory assist decreases ventilator-induced lung injury and non-pulmonary organ dysfunction in rabbits with acute lung injury. *Intensive Care Med* 35:1979–89
- Brander L, Leong-Poi H, Beck J, et al (2009) Titration and implementation of neurally adjusted ventilatory assist in critically ill patients. *Chest* 135:695–703
- Arold SP, Mora R, Lutchen KR, et al (2002) Variable tidal volume ventilation improves lung mechanics and gas exchange in a rodent model of acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 165:366–71
- Spieth PM, Carvalho AR, Pelosi P, et al (2009) Variable tidal volumes improve lung protective ventilation strategies in experimental lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 179:684–93
- Schmidt M, Demoule A, Cracco C, et al (2010) Neurally adjusted ventilatory assist increases respiratory variability and complexity in acute respiratory failure. *Anesthesiology* 112:670–81
- Carteaux G, Lyazidi A, Thille AW, Brochard L (2010) Titration of assistance in neurally adjusted ventilatory assist (NAVA) compared to pressure support ventilation. preliminary results. [Abstract] *Am J Respir Crit Care Med* 181:A3011
- Coisel Y, Chanques G, Jung B, et al (2010) neurally adjusted ventilatory assist in critically ill postoperative patients: a crossover randomized study. *Anesthesiology* 113:925–35
- Campoccia Jalde F, Almadhoob AR, Beck J, et al (2010) Neurally adjusted ventilatory assist and pressure support ventilation in small species and the impact of instrumental dead space. *Neonatology* 97:279–85