

Indications de la ventilation non invasive en 2016

Alexandre Demoule

*Unité de Réanimation médicale et de Surveillance continue
Groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière Charles Foix, Paris*

La ventilation non invasive (VNI) se définit comme une assistance ventilatoire délivrée sans recours à une prothèse endotrachéale, autrement dit sans intubation ni trachéotomie. C'est à la fin des années quatre-vingt et au début des années quatre-vingt-dix que la VNI a connu son essor. Plusieurs études extrêmement solides ont alors démontré un bénéfice majeur de cette thérapeutique dans deux pathologies : la décompensation de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) et l'œdème pulmonaire aigu cardiogénique (OAP). Par la suite, de nombreux travaux ont étendu les indications de la VNI à une multitude d'autres causes d'insuffisance respiratoire aiguë (IRA), comme les pneumonies, les détresses respiratoires aiguës post-extubation ou postopératoire.

Tous ces travaux ont suscité un véritable engouement des praticiens de réanimation pour la VNI, à tel point qu'en France, la proportion de patients ventilés ayant bénéficié d'une VNI ne cesse de croître. Elle est ainsi passée de 16 % en 1997 à 23 % en 2002, et finalement à 31 % en 2010 [1]. Néanmoins, cet engouement des praticiens pour la VNI ne doit pas conduire à une utilisation excessive et dans n'importe quelles conditions. Non invasif n'est pas synonyme de non délétère, loin de là. La VNI a des indications et des contre-indications bien précises qui doivent être connues et respectées. Seul le respect de ces indications et contre-indications permet d'offrir la VNI aux patients qui en bénéficient réellement, et ce en toute sécurité. Les principales indications de la VNI sont détaillées dans le tableau 1.

1. La décompensation de BPCO et l'OAP cardiogénique : les indications claires de la VNI

Les données de la littérature montrent très clairement que l'indication de la VNI, dans la décompensation de BPCO et dans l'OAP cardiogénique, repose sur des preuves solides et cette réalité est admise par les praticiens.

1.1. Décompensation BPCO

La décompensation de BPCO est certainement l'indication de la VNI qui repose sur les preuves les plus solides. Dans cette pathologie, l'indication de la VNI naît de fondements physiopathologiques robustes. Ainsi, en compensant la pression expiratoire positive intrinsèque (PEPi) et en diminuant la pression que doivent développer les muscles inspiratoires pour produire un volume courant, la VNI réduit le travail respiratoire et permet la correction de l'acidose ventilatoire. Ces fondements physiologiques robustes ont motivé la réalisation d'au moins huit études randomisées contrôlées dont les résultats montrent en général un net bénéfice de la VNI quant à la réduction du taux d'intubation, mais aussi et surtout de la mortalité [2]. De plus, au moins trois méta-analyses confirment que, adjointe au traitement médical conventionnel de la décompensation de BPCO, l'utilisation de la VNI est associée à une réduction de la mortalité et à un moindre recours à l'intubation endotrachéale. Ce bénéfice ne concerne toutefois que les décompensations sévères ou en tout cas caractérisées par un $\text{pH} < 7,35$. En effet, dans les deux études conduites chez des patients ayant un $\text{pH} > 7,35$, la VNI n'apportait aucun bénéfice [3], probablement parce qu'il faut un certain niveau de sévérité pour bénéficier de ce traitement.

L'encéphalopathie hypercapnique, même sévère, n'est pas une contre-indication à la VNI dans la décompensation de BPCO. Des études randomisées, ayant inclus environ 50 % de patients présentant une encéphalopathie sévère, ont montré que la VNI pouvait prévenir l'intubation [4]. De plus, des études cas-témoin ont montré la faisabilité et le bénéfice de la VNI chez ces patients, ce même en présence d'un coma [5]. Ainsi, dans une population présentant une altération de la vigilance marquée et une acidose ventilatoire sévère, l'amélioration de la vigilance et la régression de l'acidose et de l'hypercapnie dans la première heure suivant l'instauration de la VNI semblent être de bons facteurs prédictifs de succès de la technique [5].

Tableau 1. Indications de la VNI (d'après la conférence de consensus commune, 2006)

Nature de l'IRA	Niveau de recommandation	
IRA des pathologies respiratoires chroniques		
Décompensation de BPCO	G1 +	Indication si pH < 7,35
Autres pathologies respiratoires chroniques		
Mucoviscidose	G2 +	
IRC restrictive dont neuromusculaire	G2 +	
Syndrome obésité hypoventilation		Pas de conclusion possible
Asthme aigu grave		Pas de conclusion possible
OAP cardiogénique	G1 +	En complément du traitement médical
IRA de novo		
IRA hypoxémique de l'immunodéprimé	G2 +	
Pneumonie hypoxémiante, SDRA	G2-	Bénéfice de la VNI à évaluer précocement
Autres indications		
Post-extubation		
IRA post-extubation	G2-	Potentiellement délétère chez le patient non BPCO
Prévention d'une IRA post-extubation	G2 +	
Sevrage de la ventilation invasive	G2 +	Patient BPCO
Postopératoire		
Curatif	G2 +	Résection pulmonaire, transplantation d'organe
Prophylactique	G2 +	Chirurgie abdominale et de l'aorte
Oxygénation pré-intubation	G2 +	
Endoscopie bronchique	G2 +	
Limitation thérapeutique	G2 +	

Niveau de recommandation selon le système GRADE : il faut faire (G1 +) ou il ne faut pas faire (G1-); il faut probablement faire (G2 +) ou il ne faut probablement pas faire (G2-). BPCO : broncho-pneumopathie chronique obstructive ; IRA : insuffisance respiratoire aiguë ; IRC : insuffisance respiratoire chronique ; OAP : œdème aigu pulmonaire ; SDRA : syndrome de détresse respiratoire aiguë de l'adulte

1.2. Œdème pulmonaire aigu cardiogénique

L'œdème pulmonaire aigu cardiogénique est l'une des indications les plus anciennes de la VNI. Cette indication repose sur des bases physiopathologiques fortes. En ventilation spontanée, l'application d'une PEP à des patients en OAP augmente l'index cardiaque et le volume d'éjection systolique en cas d'altération préexistante de la fonction systolique et diminue le volume télédiastolique du ventricule gauche en cas de fonction systolique préservée. De plus, sur le plan respiratoire, la PEP augmente la capacité résiduelle fonctionnelle, améliore les échanges gazeux et diminue les résistances bronchiques ainsi que le travail ventilatoire.

Chez les patients admis pour OAP cardiogénique, le bénéfice de la VNI, quant à la réduction du taux d'intubation, est démontré par les études randomisées contrôlées. L'adjonction d'une pression

positive inspiratoire est, elle aussi, associée à une diminution du taux d'intubation comparé au seul traitement médical [6]. Néanmoins, ce bénéfice semble surtout profitable au sous-groupe des patients hypercapniques [7].

Enfin, plusieurs méta-analyses successives sont venues confirmer le bénéfice de la VNI dans l'IRA des OAP cardiogéniques. Elles mettent en évidence un bénéfice global de la VNI [8], mais aucune d'entre elles n'a fermement montré un impact bénéfique clair de la VNI sur la mortalité hospitalière. Plus, une étude de cohorte récente a montré une absence de bénéfice de la VNI sur la mortalité hospitalière dans l'OAP cardiogénique [9]. L'une des explications possibles tient au fait que le pronostic de la maladie sous-jacente, à savoir l'insuffisance cardiaque, est très mauvais. De ce fait, la mortalité à moyen terme de patients admis pour OAP est élevée. Ceci n'empêche pas la VNI d'améliorer la survie à très court terme (en réanimation).

Il existe donc, dans l'OAP, un bénéfice de la VNI quant à la prévention de l'intubation. L'utilisation de cette thérapeutique semble de plus être associée à une réduction de la mortalité en réanimation, mais pas hospitalière.

2. Insuffisance respiratoire aiguë de novo : un bénéfice limité à des populations bien sélectionnées

Le bénéfice de la VNI est plus débattu chez les patients présentant une IRA de novo, c'est-à-dire sur un poumon préalablement sain et en l'absence d'OAP. Cette vaste catégorie regroupe les pneumonies infectieuses et d'inhalation, les syndromes de détresse respiratoire aiguë (SDRA), les pneumonies de l'immunodéprimé, les atélectasies, les traumatismes thoraciques, les détresses respiratoires postopératoires... Les études évaluant le bénéfice de la VNI dans l'IRA de novo mélangent ainsi un nombre considérable de pathologies, en réalité bien différentes.

Si, en général, l'utilisation de la VNI dans les IRA de novo est associée à une réduction du risque d'intubation, elle n'est associée à une réduction de mortalité que dans des populations de patients hautement sélectionnés.

Cette sélection peut s'opérer selon la pathologie sous-jacente. C'est par exemple le cas des patients immunodéprimés, qu'il s'agisse de patients d'hématologie [10] ou admis en postopératoire d'une greffe d'organe solide [11]. Dans ces populations, les études réalisées au début des années 2000 ont montré que l'utilisation de la VNI était associée à une réduction du risque d'intubation et, surtout, à une réduction du risque de mortalité. Il est fort probable que ce bénéfice soit lié au fait qu'il s'agit de populations dans lesquelles l'intubation était associée à une mortalité considérable. Tout ce qui pouvait l'éviter était donc susceptible d'avoir un bénéfice sur la survie. Il faut cependant noter que le pronostic des malades d'oncohématologie, intubés en réanimation, s'est globalement amélioré. L'intubation chez ces patients n'a probablement plus un pronostic aussi péjoratif que jadis et l'éviter au prix d'une VNI poussée au-delà de certaines limites n'est probablement pas justifié, ce d'autant plus que de récentes données remettent en cause le bénéfice de la VNI dans cette population [12]. La sélection des patients peut aussi porter sur la restriction des critères d'inclusion des patients dans les études qui multiplient les critères d'exclusion, ce qui a pour avantage d'inclure une population homogène, mais pour inconvénient d'aboutir à une étude comparant des patients bien différents de ceux que les praticiens prennent en charge dans leur activité quotidienne [13]. Finalement, les principales données issues de la littérature montrent que la VNI pourrait être bénéfique chez les patients les moins sévères, mais est associée à une surmortalité chez les patients les plus sévères.

Les résultats de méta-analyse confirment que le bénéfice de la VNI dans l'IRA de novo est limité à des populations sélectionnées [14]. Finalement, les données issues d'enquêtes multicentriques, très en faveur du bénéfice de la VNI dans les décompensations de BPCO et dans l'OAP cardiogénique, sont plus mitigées quant aux patients admis pour une IRA de novo. L'IRA de novo est en effet un facteur prédictif indépendant d'échec de la VNI [1]. De plus, l'échec de la VNI est indépendamment associé à une surmortalité chez les patients ventilés pour une IRA de novo, alors qu'il ne l'est pas chez les patients ventilés pour une décompensation de BPCO ou un OAP cardiogénique [15]. Ainsi, dans l'IRA de novo, les patients intubés en échec de VNI sont exposés à un risque plus élevé de mortalité. Les

raisons de cette surmortalité, associée à l'échec de la VNI, ne sont pas claires : retard à l'intubation conduisant à une intubation en catastrophe, volotraumatisme secondaire aux volumes courants très élevés délivrés chez ces patients lors de la VNI [16].

3. VNI au décours de l'extubation et lors du sevrage

L'utilisation de la VNI en post-extubation a pour objectif principal de faciliter le sevrage et de prévenir la réintubation. Son utilisation a été évaluée dans 2 situations bien distinctes :

- Pour prévenir la survenue d'une détresse respiratoire. Le patient réuni tous les critères prérequis du sevrage et a réussi l'épreuve de sevrage, sans signe de mauvaise tolérance. Dans ce cas, la VNI est débutée immédiatement après l'extubation avec pour objectif de prévenir la survenue d'une détresse respiratoire aiguë. C'est la VNI dite « prophylactique ». Elle est appliquée chez des patients à fort risque de détresse respiratoire aiguë post-extubation comme, par exemple, ceux présentant une hypercapnie au décours de l'extubation.
- Pour traiter une détresse respiratoire aiguë déjà installée dans les suites de l'extubation. Dans ce dernier cas, le patient a été extubé après avoir réussi l'épreuve de sevrage et développe secondairement une détresse respiratoire. La VNI est alors entreprise avec pour objectif de traiter cette détresse respiratoire. Cette stratégie dénommée VNI « curative » est potentiellement dangereuse et risque de retarder la réintubation sans pour autant l'éviter.

Dans une enquête récente réalisée en France, 10 % des patients recevaient de la VNI dans les suites de l'extubation, 65 % dans une stratégie curative et 35 % dans une stratégie prophylactique.

3.1. VNI prophylactique : prévenir la détresse respiratoire aiguë post-extubation chez les patients à risque

Des études ont montré que la VNI prophylactique réduisait l'incidence des détresses respiratoires aiguës post-extubation chez les patients à haut risque de détresse, notamment les patients hypercapniques [17].

Toute la complexité réside dans la difficulté de déterminer des critères définissant la population des patients « à risque » d'être ré-intubés. Il semble que les patients qui bénéficient le plus de cette stratégie sont ceux âgés de plus de 65 ans, ayant un score de gravité élevé en début de sevrage, ainsi que ceux intubés pour insuffisance cardiaque [17]. Il est important de noter qu'une très large étude, n'ayant pas sélectionné des patients à fort risque de détresse respiratoire aiguë post-extubation, s'est avérée négative [18].

Les résultats de ces études prospectives sont confirmés par les résultats d'une récente analyse de cohorte qui montrent que l'application systématique d'une VNI prophylactique post-extubation chez les patients âgés de plus de 65 ans, et chez ceux ayant une maladie cardiaque ou respiratoire sous-jacente, permet de diminuer le taux de ré-intubation dans les 7 jours suivant l'extubation de 28 % à 15 % [19].

En pratique, l'utilisation de la VNI prophylactique post-extubation semble bénéfique chez les patients hypercapniques et chez ceux ayant une maladie respiratoire ou cardiaque chronique sous-jacente. En revanche, elle ne semble pas bénéfique chez les patients sans facteur de risque d'échec d'extubation.

3.2. VNI curative pour traiter une détresse respiratoire en post-extubation

L'objectif de la VNI curative post-extubation est de traiter une détresse respiratoire aiguë survenant dans les suites de l'extubation. Cette stratégie est potentiellement dangereuse et risque de retarder la ré-intubation sans pour autant l'éviter.

A ce jour, seules deux études randomisées contrôlées multicentriques ont été publiées [20, 21]. Les résultats ne montrent aucun bénéfice de la VNI curative quant à la prévention de la réintubation. Pire, dans l'une de ces deux études, la ré-intubation était plus tardive dans le groupe VNI (12h versus 2h) et la mortalité tendait à y être plus élevée [21]. Cette stratégie pourrait donc augmenter la mortalité en retardant la ré-intubation.

4. VNI dans le postopératoire

L'utilisation de la VNI repose sur des bases physiopathologiques assez claires : la chirurgie thoracique ou abdominale, combinée à la douleur postopératoire et à l'impact de l'anesthésie conduit, d'une part à une perte de volume gazeux pulmonaire sources d'atélectasies et, d'autre part, à une dysfonction diaphragmatique. Cette altération de la fonction respiratoire est potentiellement majorée par certaines comorbidités comme une obésité ou une BPCO sous-jacente. Ce déséquilibre charge-capacité expose le patient à la survenue d'une insuffisance respiratoire aiguë. Dans le contexte postopératoire, la VNI peut être appliquée de façon curative pour traiter une détresse respiratoire aiguë constituée ou de façon prophylactique pour prévenir la survenue d'une IRA chez un patient à risque, que ce soit du fait de son terrain propre ou de la nature de la chirurgie [22].

4.1. VNI postopératoire prophylactique

En postopératoire comme en post-extubation, la VNI prophylactique semble plus prometteuse que la VNI curative.

En chirurgie abdominale, la VS-PEP prophylactique, débutée en cas d'hypoxémie 1 h après l'intubation et administrée au moyen d'un casque, permet de réduire le taux d'intubation et les complications infectieuses sans diminuer de façon significative la durée de séjour en réanimation [23]. Toutefois, aucune étude n'a montré de réel bénéfice d'une VNI appliquée de façon systématique [24].

En postopératoire de cure d'anévrisme thoraco-abdominal, la VS-PEP, administrée au masque nasal de façon systématique, réduit l'incidence des complications respiratoires et la durée de séjour hospitalier [25]. Des résultats similaires sont retrouvés après chirurgie de résection pulmonaire pour cancer [26].

En ce qui concerne la chirurgie de résection pulmonaire programmée, l'institution d'une VNI prophylactique 15 jours avant la chirurgie, dans le cadre d'un programme de préparation globale, améliore la fonction respiratoire [27]. En revanche, ni cette intervention ni l'administration postopératoire systématique d'une VNI ne préviennent la survenue d'une détresse respiratoire et l'intubation qui en résulte [28].

Enfin, en chirurgie cardiaque, l'application prophylactique d'une VS-PEP au décours de l'extubation diminue l'incidence des complications postopératoires, sans toutefois diminuer la durée de séjour en réanimation ou hospitalière [29].

4.2. VNI postopératoire curative

Le bénéfice de la VNI postopératoire curative n'est montré que dans des populations très sélectionnées, et plus particulièrement dans lesquelles la mortalité associée à la réintubation est élevée. C'est ainsi que la VNI curative apporte un bénéfice en postopératoire de chirurgie de résection pulmonaire [30], de transplantation d'organe solide (rein, foie et poumon) [11], et de résection de cancer de l'œsophage [31]. Enfin, une récente étude a montré le bénéfice d'une VNI instituée devant une détresse respiratoire aiguë survenant au décours d'une chirurgie abdominale, à la condition expresse d'avoir formellement éliminé au préalable l'implication d'une complication en rapport avec le site opératoire dans la genèse de la détresse respiratoire [32].

En-dehors de ces rares indications, le bénéfice de la VNI postopératoire curative n'est pas montré. Il est important de garder à l'esprit que la survenue d'une détresse respiratoire aiguë postopératoire doit avant tout faire suspecter une complication en rapport avec le site opératoire, laquelle contre-indique bien évidemment la VNI. Dans ce contexte, l'instauration d'une VNI ne doit en aucun cas retarder ou compromettre la prise en charge d'une telle complication.

Conclusion

En une décennie, la VNI s'est affirmée comme une thérapeutique majeure de l'IRA. Pour des causes d'IRA telles que la décompensation de BPCO ou l'OAP cardiogénique, la VNI est maintenant le traitement de première ligne et permet de réduire le risque d'intubation voire, dans certains cas, la mortalité et la durée de séjour. Le bénéfice est moins clair dans l'IRA de novo où son échec est associé à une surmortalité. Enfin, la VNI post-extubation et postopératoire, toutes deux en pleine expansion, s'avèrent d'autant plus bénéfique qu'elles sont administrées de façon prophylactique. Quoi qu'il en soit, la VNI, comme toute thérapeutique, connaît un certain nombre de contre-indications qu'il convient de respecter afin de la pratiquer en toute sécurité. Enfin, l'utilisation de la VNI nécessite une expérience que chacun doit acquérir et ne se conçoit que dans un environnement adapté.

Références

1. Demoule A, Chevret S, Carlucci A, Kouatchet A, Jaber S, Meziani F et al. Changing use of noninvasive ventilation in critically ill patients: trends over 15 years in francophone countries. *Intensive Care Med* 2016; 42: 82-92.
2. Brochard L, Mancebo J, Wysocki M, Lofaso F, Conti G, Rauss A et al. Noninvasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 1995; 333: 817-22.
3. Keenan SP, Sinuff T, Cook DJ, Hill NS. Which patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease benefit from noninvasive positive-pressure ventilation? A systematic review of the literature. *Ann Intern Med* 2003; 138: 861-70.
4. Conti G, Antonelli M, Navalesi P, Rocco M, Bui M, Spadetta G et al. Noninvasive vs. conventional mechanical ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease after failure of medical treatment in the ward: a randomized trial. *Intensive Care Med* 2002; 28: 1701-7.
5. Diaz GG, Alcaraz AC, Talavera JC, Perez PJ, Rodriguez AE, Cordoba FG et al. Noninvasive positive-pressure ventilation to treat hypercapnic coma secondary to respiratory failure. *Chest* 2005; 127: 952-60.
6. Masip J, Betbese AJ, Paez J, Vecilla F, Canizares R, Padro J et al. Non-invasive pressure support ventilation versus conventional oxygen therapy in acute cardiogenic pulmonary oedema: a randomised trial. *Lancet* 2000; 356: 2126-32.
7. Nava S, Carbone G, DiBattista N, Bellone A, Baiardi P, Cosentini R et al. Noninvasive ventilation in cardiogenic pulmonary edema: a multicenter randomized trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 168: 1432-7.
8. Vital FM, Ladeira MT, Atallah AN. Non-invasive positive pressure ventilation (CPAP or bilevel NPPV) for cardiogenic pulmonary oedema. *Cochrane Database Syst Rev* 2013; 5: CD005351.
9. Schnell D, Timsit JF, Darmon M, Vesin A, Goldgran-Toledano D, Dumenil AS et al. Noninvasive mechanical ventilation in acute respiratory failure: trends in use and outcomes. *Intensive Care Med* 2014; 40: 582-91.
10. Hilbert G, Gruson D, Vargas F, Valentino R, Gbikpi-Benissan G, Dupon M et al. Noninvasive ventilation in immunosuppressed patients with pulmonary infiltrates, fever, and acute respiratory failure. *N Engl J Med* 2001; 344: 481-7.
11. Antonelli M, Conti G, Bui M, Costa MG, Lappa A, Rocco M et al. Noninvasive ventilation for treatment of acute respiratory failure in patients undergoing solid organ transplantation: a randomized trial. *JAMA* 2000; 283: 235-41.
12. Lemiale V, Mokart D, Resche-Rigon M, Pene F, Mayaux J, Faucher E et al. Effect of Noninvasive Ventilation vs Oxygen Therapy on Mortality Among Immunocompromised Patients With Acute Respiratory Failure: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2015; 314: 1711-9.
13. Ferrer M, Esquinas A, Leon M, Gonzalez G, Alarcon A, Torres A. Noninvasive ventilation in severe hypoxemic respiratory failure: a randomized clinical trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 168: 1438-44.
14. Keenan SP, Sinuff T, Cook DJ, Hill NS. Does noninvasive positive pressure ventilation improve outcome in acute hypoxemic respiratory failure? A systematic review. *Crit Care Med* 2004; 32: 2516-23.
15. Demoule A, Girou E, Richard JC, Taille S, Brochard L. Benefits and risks of success or failure of noninvasive ventilation. *Intensive Care Med* 2006; 32: 1756-65.
16. Carreaux G, Millan-Guilarte T, De Prost N, Razazi K, Abid S, Thille AW et al. Failure of Noninvasive Ventilation for De Novo Acute Hypoxemic Respiratory Failure: Role of Tidal Volume. *Crit Care Med* 2016; 44: 282-90.

17. Ferrer M, Sellares J, Valencia M, Carrillo A, Gonzalez G, Badia JR et al. Non-invasive ventilation after extubation in hypercapnic patients with chronic respiratory disorders: randomised controlled trial. *Lancet* 2009; 374: 1082-8.
18. Su CL, Chiang LL, Yang SH, Lin HI, Cheng KC, Huang YC et al. Preventive use of noninvasive ventilation after extubation: a prospective, multicenter randomized controlled trial. *Respir Care* 2012; 57: 204-10.
19. Thille AW, Boissier F, Ghezala HB, Razazi K, Mekontso-Dessap A, Brun-Buisson C. Risk Factors for and Prediction by Caregivers of Extubation Failure in ICU Patients: A Prospective Study. *Crit Care Med* 2015; 43: 613-20.
20. Keenan SP, Powers C, McCormack DG, Block G. Noninvasive positive-pressure ventilation for postextubation respiratory distress: a randomized controlled trial. *JAMA* 2002; 287: 3238-44.
21. Esteban A, Frutos-Vivar F, Ferguson ND, Arabi Y, Apezteguia C, Gonzalez M et al. Noninvasive positive-pressure ventilation for respiratory failure after extubation. *N Engl J Med* 2004; 350: 2452-60.
22. Chiumello D, Chevillard G, Gregoretti C. Non-invasive ventilation in postoperative patients: a systematic review. *Intensive Care Med* 2011; 37: 918-29.
23. Squadrone V, Coxa M, Cerutti E, Schellino MM, Biolino P, Occella P et al. Continuous positive airway pressure for treatment of postoperative hypoxemia: a randomized controlled trial. *JAMA* 2005; 293: 589-95.
24. Ireland CJ, Chapman TM, Mathew SF, Herbison GP, Zacharias M. Continuous positive airway pressure (CPAP) during the postoperative period for prevention of postoperative morbidity and mortality following major abdominal surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2014; 8: CD008930.
25. Kindgen-Milles D, Muller E, Buhl R, Bohner H, Ritter D, Sandmann W et al. Nasal-continuous positive airway pressure reduces pulmonary morbidity and length of hospital stay following thoracoabdominal aortic surgery. *Chest* 2005; 128: 821-8.
26. Fagevik Olsen M, Wennberg E, Johnsson E, Josefson K, Lonroth H, Lundell L. Randomized clinical study of the prevention of pulmonary complications after thoracoabdominal resection by two different breathing techniques. *Br J Surg* 2002; 89: 1228-34.
27. Perrin C, Jullien V, Venissac N, Berthier F, Padovani B, Guillot F et al. Prophylactic use of noninvasive ventilation in patients undergoing lung resectional surgery. *Respir Med* 2007; 101: 1572-8.
28. Lorut C, Lefebvre A, Planquette B, Quinquis L, Clavier H, Santelmo N et al. Early postoperative prophylactic noninvasive ventilation after major lung resection in COPD patients: a randomized controlled trial. *Intensive Care Med* 2014; 40: 220-7.
29. Zarbock A, Mueller E, Netzer S, Gabriel A, Feindt P, Kindgen-Milles D. Prophylactic nasal continuous positive airway pressure following cardiac surgery protects from postoperative pulmonary complications: a prospective, randomized, controlled trial in 500 patients. *Chest* 2009; 135: 1252-9.
30. Auriant I, Jallot A, Herve P, Cerrina J, Le Roy Ladurie F, Fournier JL et al. Noninvasive ventilation reduces mortality in acute respiratory failure following lung resection. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 1231-5.
31. Michelet P, D'Journo XB, Seinaye F, Forel JM, Papazian L, Thomas P. Non-invasive ventilation for treatment of postoperative respiratory failure after oesophagectomy. *Br J Surg* 2009; 96: 54-60.
32. Jaber S, Lescot T, Futier E, Paugam-Burtz C, Seguin P, Ferrandiere M et al. Effect of Noninvasive Ventilation on Tracheal Reintubation Among Patients With Hypoxemic Respiratory Failure Following Abdominal Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2016; 315: 1345-53.