

Sevrage de la ventilation mécanique : définitions et stratégies

(Chapitre 81 du traité complet)

G. Béduneau, D. Carpentier, C. Girault, D. Boyer, T. Pham

PLAN DU CHAPITRE

Introduction	67	Stratégies du sevrage de la ventilation mécanique	70
Le sevrage de la ventilation mécanique : du ressenti à une démarche étayée	67		

Introduction

La ventilation mécanique invasive (VM) est utilisée quotidiennement en réanimation. Ses indications recouvrent des situations cliniques diverses allant de la gestion postopératoire d'une chirurgie lourde à la détresse respiratoire aiguë hypoxémique. Cette suppléance d'organe, souvent indispensable, reste pourvoyeuse de complications, au premier rang desquelles se placent les pneumopathies acquises sous VM [1, 2]. Dès l'intubation, la prise en charge du clinicien doit tenir compte de l'existence de deux écueils potentiels : prolonger indûment la ventilation invasive ou, au contraire, extuber le patient trop précocement, avant que celui-ci ne soit prêt à respirer sans assistance ou à protéger et drainer ses voies aériennes. Dans ces deux cas, le patient serait alors exposé à des risques évolutifs propres [1, 3, 4]. En pratique, le sevrage de la VM se définit comme le processus aboutissant à l'arrêt de l'assistance ventilatoire (« déventilation ») et l'ablation de la prothèse endotrachéale (extubation le plus souvent, parfois décanulation) ayant permis celle-ci. Dans ces conditions, la totalité du travail et de la commande respiratoires doit donc pouvoir être transférée du ventilateur au patient, et celui-ci doit être apte à gérer la protection et, si nécessaire, le drainage de ses voies aériennes.

Il a été rapporté que la période du sevrage peut représenter une part importante de la durée totale de VM, allant de 40 % à plus de 50 % de celle-ci selon les populations considérées [5–8]. De ce fait, cette période peut contribuer fortement aux complications liées à tout séjour en réanimation, ainsi qu'au coût élevé des soins de réanimation [5, 9]. Pour toutes ces raisons, le sevrage de la VM est une phase cruciale

du séjour en réanimation, et doit constituer une préoccupation quotidienne pour le clinicien.

Le sevrage de la ventilation mécanique : du ressenti à une démarche étayée

La thématique du sevrage de la VM a fait l'objet d'une abondante recherche scientifique depuis plus de vingt ans. Ainsi, la question posée dans un éditorial du milieu des années quatre-vingt : « *Is weaning an art or a science?* » [10], a pu trouver en partie sa réponse à partir des nombreux travaux publiés depuis. Il est désormais considéré que les progrès réalisés dans ce domaine ont fait évoluer le sevrage de l'application d'un art à celle d'une science [11]. La Société de réanimation de langue française (SRLF) a contribué à cette évolution en participant pleinement à une recommandation formalisée d'experts (RFE) francophone publiée en 2017 [12] et à deux conférences de consensus [5, 13]. Pour autant, une récente enquête prospective européenne montre l'existence d'une importante variabilité dans notre conduite réelle du sevrage de la ventilation mécanique [14].

De quoi s'agit-il ? Quand commence-t-il ?

Le sevrage de la VM est défini par l'ensemble des mesures conduisant à ce que le patient respire de nouveau sans assistance mécanique. L'initiation du sevrage ne peut se concevoir qu'après une amélioration suffisante de la raison ayant conduit à devoir intuber et ventiler le patient.

Cependant, cette initiation peut être optimisée par diverses stratégies appliquées à différents temps de la prise en charge du patient, y compris avant même que sa stabilisation clinique ne soit obtenue. Le clinicien doit ainsi rechercher à parfaire les conditions de sédation-analgésie dès l'admission du patient, avec pour principe d'utiliser la dose minimale efficace selon les objectifs visés et d'évaluer au quotidien la nécessité ou non de son maintien. Il n'est plus envisageable d'aborder le sevrage de la VM sans prendre en compte la stratégie de sédation-désédation appliquée [15]. Il doit aussi chercher à favoriser, dès que la balance bénéfice-risque semble en faveur, les modes de ventilation assistés de façon à préserver une activité ventilatoire spontanée [16]. Ceci a pour but de limiter les lésions diaphragmatiques induites par la ventilation mécanique [17], notamment l'atrophie induite par le ventilateur dès 48 heures de VM, en particulier avec les modes totalement contrôlés [18, 19]. Au-delà du simple choix du mode ventilatoire se développe le concept de ventilation protectrice pour le diaphragme, afin de réduire les conséquences potentiellement néfastes des réglages du ventilateur, regroupées sous la notion de « diaphragmatic myotrauma » [20].

Dans ces conditions optimisées, le processus de sevrage pourra donc être d'autant plus rapidement initié. Néanmoins, l'introduction de plus en plus précoce et systématique des modes assistés de ventilation rend plus complexe et discutable le repérage de l'initiation du sevrage. La problématique principale à ce stade est donc de repérer le patient potentiellement prêt à être sevré. Nous pouvons schématiquement considérer que le début réel de la période de sevrage de la VM est marqué par l'épreuve de ventilation spontanée (VS), réalisée selon des modalités bien précises (cf. *infra*), lorsque des critères de sevrabilité sont remplis [5] (fig. 81.1). Il peut néanmoins exister des « situations particulières de sevrage » que nous développerons plus loin.

De la déventilation à l'extubation

D'une façon générale, le sevrage de la VM est associé à l'ablation de la prothèse endotrachéale qui avait permis l'accès

aux voies aériennes supérieures (VAS) et l'application de la ventilation artificielle. Il s'agit dans une très grande majorité des cas d'une sonde d'intubation, d'où l'utilisation préférentielle du vocable « extubation ». Parfois cette prothèse endotrachéale est une canule de trachéotomie. La « déventilation » et l'extubation représentent des étapes, certes très complémentaires, mais qui doivent être clairement distinguées, et probablement d'autant plus que le patient est ventilé via une canule de trachéotomie. En effet, des mécanismes d'échec potentiellement spécifiques à chacune de ces étapes existent. Strictement, un patient s'avère « déventilable » dès qu'il est en mesure d'assumer seul, sans aucune assistance, sa demande et ses besoins ventilatoires. Il peut pour autant ne pas être « extuable » (ou le cas échéant « décanulable »), notamment s'il n'est pas en mesure de protéger suffisamment ses voies aériennes ou de drainer correctement ses sécrétions trachéobronchiques [21]. Ces situations peuvent se rencontrer en fonction du niveau de conscience du patient (sédation, atteinte neurologique centrale...), en cas de troubles de la déglutition [22] ou bien dans un contexte de toux insuffisamment efficace [23]. De telles situations doivent donc être appréhendées avant même l'extubation. Malgré une meilleure connaissance des mécanismes d'échec du sevrage/extubation, il existe encore des circonstances où la capacité à respirer sans prothèse endotrachéale peut s'avérer difficilement évaluable avant l'extubation. L'obstruction des VAS post-extubation, se révélant le plus souvent par une dyspnée laryngée (dont la prévalence varie de 38 % à 65 % des cas selon les études), représente ainsi une cause possible d'échec d'extubation [24, 25]. Dans une étude monocentrique comportant un examen endoscopique systématique en post-extubation, Tadié *et al.* [26] apportent d'importantes données concernant la fréquence des lésions anatomiques observées. Néanmoins, l'obstruction des VAS post-extubation peut être utilement dépistée par la réalisation d'un test de fuites, sans en méconnaître ses limites [27], et à condition de l'intégrer dans une stratégie thérapeutique visant à proposer une corticothérapie préventive dans des populations à risque identifiées [28]. Ainsi, dans ce contexte d'une littérature contrastée, tout en rappelant la faible valeur prédictive positive du test de

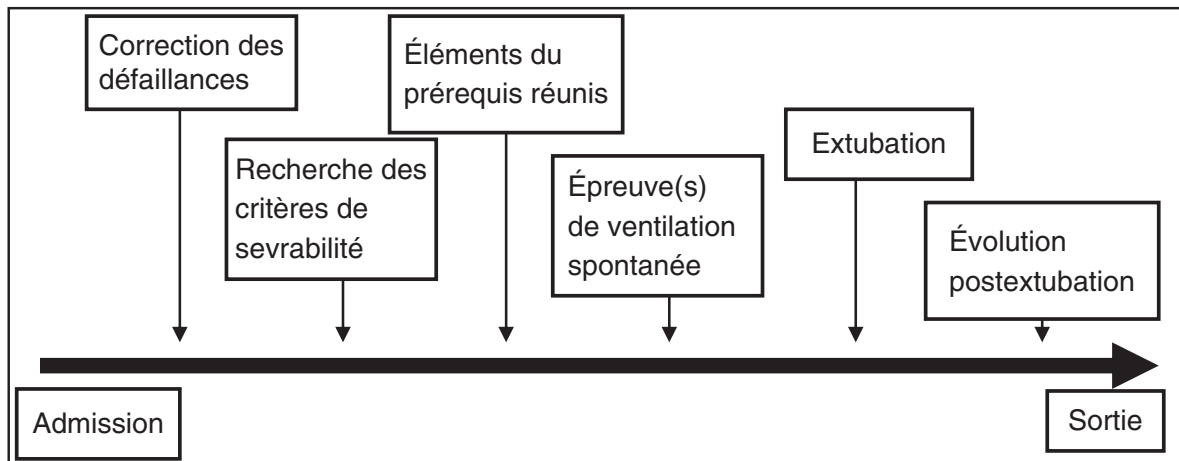


Fig. 81.1 Parcours schématisé du processus de sevrage d'un patient sous VM. D'après [5].

fuite, les auteurs de la RFE francophone sur l'extubation [12] proposent la réalisation d'un test de fuites avant extubation lorsqu'un patient présente des facteurs de risque de dyspnée laryngée (sont retenus dans cette RFE le sexe féminin, l'intubation par voie nasale, la sonde d'intubation de gros calibre par rapport à la taille du patient, la notion d'intubation difficile, traumatique ou prolongée). Dans cette même RFE, si le test de fuites est en faveur d'un risque d'obstruction laryngée, une corticothérapie systémique est préconisée à la dose de 1 mg/kg d'équivalent prednisolone à débiter au moins 6 heures avant l'extubation.

Finalement, il existe toujours un risque d'échec de la séparation du patient de sa prothèse endotrachéale alors même que l'assistance ventilatoire ne lui est plus indispensable.

Le sevrage de la ventilation mécanique signifie-t-il l'arrêt de toute assistance ventilatoire mécanique, et dans quel délai ?

La notion de sevrage de la VM peut être d'interprétation finalement délicate en cas de recours à une ventilation non invasive (VNI) dans les suites de l'extubation (VNI post-extubation). Le recours à la VNI post-extubation apparaît en effet de plus en plus fréquent en milieu de réanimation. Ainsi, il est possible d'avoir recours à la VNI de façon préventive pour prévenir la survenue d'une insuffisance respiratoire aiguë post-extubation, voire comme stratégie de sevrage pour réduire la durée de ventilation invasive [29, 30]. Cependant, il n'est pas recommandé d'avoir recours à la VNI de façon curative en cas d'insuffisance respiratoire aiguë post-extubation, excepté chez les patients avec une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou en cas d'œdème aigu pulmonaire (OAP) [12]. Pour autant, peut-on conclure au sevrage de la VM chez un patient encore ventilé *via* un masque plusieurs heures par jour et doit-on interpréter de la même façon le recours à la VNI post-extubation ? Dans ce contexte, la conférence de consensus internationale sur le sevrage, publiée en 2007, a proposé de retenir la notion de « sevrage en cours » lorsqu'une VNI est mise en place au décours d'une extubation, sans faire de distinction claire en fonction des objectifs exacts de cette utilisation [5].

Par ailleurs, s'il existe encore un relatif consensus pour statuer sur le succès du sevrage de la VM à la 48^e heure suivant l'extubation, en pratique, ce délai peut être en lui-même d'interprétation variable selon que l'on considère cette période de 48 heures au sens strict ou selon les jours calendaires. De plus, l'utilisation de la VNI voire de l'oxygénothérapie à haut débit (cf. *infra* et chapitre 58 dans cet ouvrage) en période post-extubation pouvant retarder le délai de réintubation, il est aussi concevable qu'un délai de 48 heures puisse être insuffisant dans ces conditions pour juger objectivement de l'échec du sevrage/extubation. Un délai plus long, pouvant s'étendre jusqu'à 7 jours, pourrait donc s'avérer plus pertinent et a été retenu dans certains travaux [14, 30, 31].

La définition de l'échec du sevrage/extubation, notamment dans quel délai maximal le considérer, devra donc être encore précisée dans les années à venir. Ainsi l'étude

« WEAN SAFE »¹ dont les inclusions ont été terminées à l'été 2018, devrait donner d'importantes informations sur le processus de sevrage. Cette étude observationnelle internationale a collecté des informations relatives au sevrage de la ventilation mécanique sur plus de 12 000 patients et dans plus de 450 services de réanimation à travers 50 pays.

Classification de l'issue du sevrage

Une classification de l'issue du sevrage de la VM en trois groupes de patients a été proposée lors de la conférence de consensus de 2005, publiée en 2007 [5]. Cette classification est basée sur la réalisation d'au moins une épreuve de VS, le résultat de celle(s)-ci ainsi que sur le succès ou non de l'éventuelle extubation jugée à la 48^e heure. On distingue ainsi trois groupes : le groupe « sevrage simple », pour lequel un succès de l'extubation est obtenu à la suite de la première épreuve de VS ; le groupe « sevrage difficile », qui regroupe les patients pour lesquels l'extubation est un succès après deux à trois épreuves de VS, sans dépasser une semaine entre la première et la dernière épreuve ; et enfin le groupe « sevrage prolongé », dont les patients ont échoué à au moins trois épreuves de VS, ou bien pour lesquels plus d'une semaine s'est écoulée entre la première épreuve et celle couronnée de succès. Comme nous l'avons vu précédemment, si les patients sont maintenus sous VNI après extubation et quel qu'en soit l'objectif (sevrage, préventive, curative), la notion de « sevrage en cours » a été proposée mais mériterait d'être clarifiée.

En pratique, cette classification s'avère peu satisfaisante car elle méconnaît trop de patients, qui de ce fait ne sont pas classés, comme l'ont confirmé les cinq études qui l'ont appliqué [32–36]. De même, dans l'étude prospective observationnelle internationale WIND (*weaning according new definition*), la moitié des 2 709 patients inclus n'a pu être classée selon les critères de la classification de la conférence de consensus internationale, faute d'initiation du processus de sevrage ; de succès de celui-ci, mais aussi faute de réalisation d'une épreuve de VS [14].

Dans ces conditions, une nouvelle classification du sevrage a été proposée pour permettre de prendre en compte les particularités (facteurs de risque, mécanismes physiopathologiques sous-jacents, impact sur les structures de soins de réanimation comme d'aval, etc.) propres à chaque groupe, pour étudier véritablement le pronostic associé à chaque stade, et enfin pour faciliter la conduite d'études visant à évaluer l'impact sur un groupe donné d'une ou plusieurs attitude(s) spécifique(s).

La classification selon WIND repose sur la durée de ventilation invasive après le premier essai de séparation du ventilateur, que celui-ci ait constitué ou non en une épreuve de VS. Le succès du sevrage étant défini comme l'absence de nécessité de ventilation mécanique invasive pendant 7 jours (ou à la sortie de réanimation si celle-ci survient avant sept jours). Ceci est résumé sur la figure 81.2.

Cette classification, appliquée aux 2 709 patients de la cohorte WIND, retrouvait les résultats suivants :

- pour 24 % des patients, aucun processus de sevrage n'avait été initié (patient décédé ou transféré dans un autre service avant d'entrer dans la phase de sevrage) ;

¹ <https://www.esicm.org/research/trials/trials-group-2/wean-safe/>

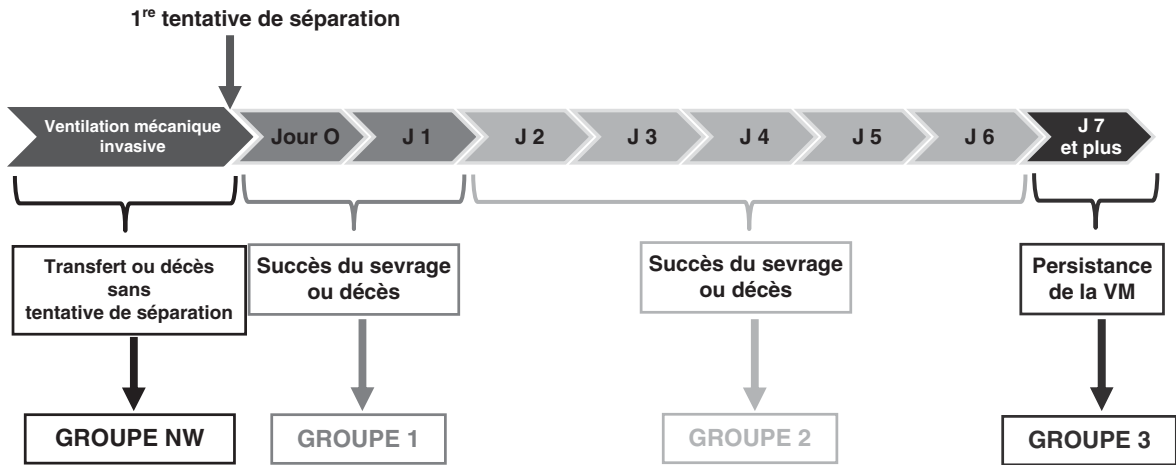


Fig. 81.2 Schéma classification WIND. NW : "no weaning" ; VM : ventilation mécanique.

- pour 57 % des patients, constituant le groupe 1 (sevrage court), le processus de sevrage était terminé (succès ou décès) en moins de 24 heures ;
- pour 10 % des patients, constituant le groupe 2 (sevrage difficile), le processus de sevrage était terminé (succès ou décès) en plus d'un jour mais moins d'une semaine après le premier essai de séparation ;
- pour 9 % des patients, constituant le groupe 3 (sevrage prolongé), le processus de sevrage n'était pas terminé (ni succès ni décès) plus de sept jours après le premier essai de séparation. La majorité (62 %) de ces patients était finalement sevrée, en médiane 11 jours après le premier essai de séparation.

La classification « WIND » permet ainsi de classer tous les patients intubés-ventilés, et retrouve une corrélation entre la durée de VM, la durée de séjour en réanimation et la mortalité pour chacun des groupes. On note une augmentation de la mortalité, de 6 % à 17 % puis 29 % respectivement pour les groupes 1 à 3. De même, on objective un risque de décès qui augmente pour chaque jour en échec de sevrage au décours d'une première tentative de séparation, de 19 % à 37 % 10 jours après le premier essai. Cette classification a été, pour la première fois à notre connaissance, utilisée dans une étude récemment publiée [37], et surtout son approche validée via son application dans un très gros collectif de patients avec l'obtention de résultats concordants [38].

Stratégies du sevrage de la ventilation mécanique

Stratégie commune à tous les patients

Les déterminants initiaux de toute stratégie de sevrage sont communs à tous les patients. Comme nous l'avons déjà mentionné, il est possible et nécessaire de faciliter le futur sevrage d'un patient donné dès que l'assistance ventilatoire artificielle est débutée. Ceci repose avant tout sur la prise en charge effective de la cause ayant motivé la VM, mais aussi

sur l'intégration, dans notre quotidien, de mesures visant à prévenir les conséquences potentiellement néfastes des thérapeutiques mises en œuvre en réanimation. Il s'agit ainsi de lutter contre une sédation excessive [15], pour tenter de prévenir son cortège de complications (retard de réveil, confusion lors de l'arrêt de la sédation, contribution à l'altération neuromusculaire...); de préserver une activité du diaphragme, principal muscle respiratoire dont l'atrophie et l'altération fonctionnelle sont très rapides lors de sa mise au repos [18, 19]; ou encore d'agir en faveur de la mobilisation précoce du patient dans le but de limiter les atteintes neuromusculaires acquises en réanimation, lesquelles contribuent aux difficultés de sevrage [39]. Ainsi le développement de la réhabilitation physique précoce pourrait constituer une stratégie majeure pour réduire à l'avenir la durée de VM [40] même si à ce jour aucun travail n'a étudié spécifiquement son rôle éventuellement bénéfique sur le sevrage. Une telle réhabilitation précoce est d'ailleurs mise en avant dans les dernières recommandations nord-américaines sur le sevrage [41].

L'ensemble de ces éléments représente différentes étapes du processus de sevrage, avant la période du sevrage proprement dite que nous allons détailler ci-après. Nous ne développerons par contre pas ici les difficultés de sevrage ni les échecs d'extubation qui font l'objet de chapitres spécifiques au sein de ce traité.

Modalités de ventilation artificielle au cours du sevrage

Il n'y a pas lieu, à ce jour, de recommander un unique mode de ventilation durant le processus de sevrage, et ce que ce soit lors de l'initiation de celui-ci ou alors même qu'un ou des échecs d'épreuve de sevrage se sont déjà produits. Le mode en pression de type aide inspiratoire (AI), dont les spécificités techniques sont décrites par ailleurs dans cet ouvrage, présente cependant de nombreux avantages. Il s'agit d'un mode de ventilation accessible sur les ventilateurs

de réanimation, dont l'efficacité pour permettre à un patient d'assurer une ventilation alvéolaire efficace est bien démontrée. Comme d'autres modes, il contribue de plus à préserver l'activité spontanée du diaphragme, tandis que la facilité de réglage du niveau d'assistance autorise à passer très aisément du stade de la compensation de l'insuffisance respiratoire à celui de l'évaluation de la capacité à respirer seul lors de l'épreuve en VS. Il convient cependant d'être particulièrement attentif au risque de survenue d'asynchronies patient-ventilateur, en se basant sur la fréquence réelle des efforts inspiratoires du patient et en affinant les réglages, notamment du niveau d'AI mais également de la pente d'insufflation, du *trigger* inspiratoire et du cyclage inspiration/expiration pour réduire au mieux les efforts inefficaces et les autres asynchronies potentielles [42].

Une enquête épidémiologique internationale a récemment montré une utilisation encore non négligeable de la ventilation assistée contrôlée intermittente (VACI) ou *synchronized intermittent mandatory ventilation* (SIMV) pour les Anglo-Saxons, principalement dans les pays d'Amérique du Nord [43]. Néanmoins, deux très importantes études prospectives randomisées utilisant ce mode dans l'un de leurs bras comparatifs ont montré que ce mode engendrait les moins bons résultats en termes de succès du sevrage de la VM [44, 45].

Les différents modes de ventilation dits « proportionnels » proposés sur les ventilateurs les plus récents, et auxquels un chapitre est aussi consacré dans cet ouvrage, approchent en théorie remarquablement les besoins physiologiques des patients mais n'ont pour le moment fait l'objet que de rares études cliniques, singulièrement dans le domaine du sevrage de la VM [46, 47]. En outre, chacun de ces modes est lié à l'utilisation de ventilateurs développés spécifiquement par certaines firmes. Ils sont donc de distribution variable au sein des services de réanimation, ce qui rend difficile la mise en place d'une démarche standardisée au sein de ces structures. L'étude dont l'acronyme est Promizing (NCT02447692) a pour objectif de déterminer si la *proportionnal assist ventilation* (PAV+) pourrait permettre de raccourcir la durée de ventilation par rapport à de la ventilation spontanée avec aide inspiratoire (VSAI). Sachant que plus que le mode ventilatoire en lui-même, ce sont, d'une part, la recherche du juste dosage de l'assistance (patient actif sans être sur ou sous-assisté) et, d'autre part, la fréquence d'évaluation des conditions de réalisation (constitutives du prérequis) d'une épreuve de ventilation spontanée qui doivent permettre de réaliser le sevrage de la ventilation mécanique aussi tôt que possible.

Critères prédictifs de l'issue du sevrage de la ventilation mécanique

Plusieurs critères prédictifs de l'issue du sevrage de la VM, plus ou moins complexes, ont été décrits dans la littérature. Cependant ces différents critères souffrent d'un certain nombre de limites (valeurs seuils, reproductibilité, etc.) et leur intérêt paraît davantage résider dans l'explication des mécanismes d'échec que dans la prédiction du succès du sevrage [48]. Parmi ces critères, le rapport fréquence respiratoire/volume courant (f/V_t) pourrait fournir le meilleur

compromis entre simplicité de réalisation et performance diagnostique (sensibilité = 97 %, spécificité = 65 %, valeur prédictive positive = 78 %, valeur prédictive négative = 95 %) pour une valeur seuil de 105 cycles/min/L [48]. Finalement, la prédiction de l'issue du sevrage s'avérant difficile compte tenu des limites des critères dont nous disposons, il est proposé, afin de ne pas retarder inutilement la déventilation et l'extubation, de ne pas attendre de les obtenir pour évaluer l'autonomie ventilatoire du patient en VS [5].

Prérequis ou critères de sevrabilité pour le sevrage de la ventilation mécanique

Comme nous l'avons évoqué précédemment, le risque de prolonger sans raison la VM existe indéniablement et peut avoir de graves conséquences, alors même que la majorité des patients ne présentent pas de difficulté particulière de sevrage. Afin de ne pas prolonger inutilement la ventilation, il est donc recommandé de mettre en œuvre une démarche systématique de recherche quotidienne de critères simples et reproductifs, également appelés critères de sevrabilité [5,13]. Ils constituent le prérequis à la réalisation d'une épreuve de sevrage en VS et plusieurs travaux ont montré l'intérêt d'une telle attitude qui apparaît clairement supérieure à la prise en compte du seul « jugement clinique » [49]. Ils associent classiquement des critères généraux (absence de vasopresseur ou d'inotrope, absence de sédation, réponse satisfaisante aux ordres simples) et des critères respiratoires ($FiO_2 \leq 50\%$, $PEP \leq 5$, toux lors des aspirations trachéales et spontanées efficaces et sécrétions bronchiques peu abondantes). Ces critères simples doivent être distingués des précédents critères prédictifs de l'issue du sevrage.

De plus, il est établi que cette démarche au quotidien est d'autant plus efficace qu'elle est acceptée et validée par l'ensemble des soignants de l'équipe de réanimation et mis en œuvre dans le cadre de conduites des soins formalisées [5]. Ces « protocoles de sevrage », dont la pierre angulaire est l'évaluation quotidienne de la sevrabilité, peuvent ainsi permettre de réduire la durée du sevrage et le délai d'extubation, sans augmenter l'incidence des réintubations, notamment en impliquant pleinement le personnel paramédical. Nous pouvons ainsi mettre en avant le rôle des infirmières ou des kinésithérapeutes (à l'instar des « physiothérapeutes » nord-américains dont la fonction se rapproche de celle des kinésithérapeutes que nous connaissons en France, en présentant toutefois la particularité d'être beaucoup plus nombreux et souvent mieux reconnus et intégrés dans les équipes) auxquels la réalisation d'une épreuve de sevrage peut être confiée, une fois réunis les éléments du prérequis [50]. Il est également envisageable de s'affranchir au moins partiellement de l'un des critères, notamment lors de la persistance d'une dose modérée et stable d'amine; en ce cas la décision associe le clinicien en charge du patient. Ces « conduites protocolisées du sevrage » semblent être d'autant plus pertinentes et efficaces qu'elles sont associées à la prise en compte de la gestion quotidienne de la sédation [15, 50]. L'intérêt de ces protocoles ne peut cependant pas être dissocié de l'implication de l'équipe dans le processus de sevrage de la VM [51,52].

Test ou épreuve de sevrage en ventilation spontanée

Lorsque les éléments du prérequis sont réunis, un test de VS doit être réalisé [12]. Cette épreuve en VS constitue actuellement le meilleur test pour prédire la capacité du patient à tolérer la VS une fois extubé [53]. Sa simplicité de mise en œuvre ainsi que sa courte durée de réalisation devraient ne pas constituer, en pratique, un frein à sa réalisation. Il est admis que ce test peut, selon les habitudes de chaque équipe, être réalisé selon deux modalités [5]. La première repose sur l'utilisation d'un tube (ou pièce) en T connecté à la sonde d'intubation, et qui peut être relié à l'oxygène mural. La deuxième méthode utilise l'AI, avec une pression inférieure ou égale à 7 cmH₂O associée à une pression de fin d'expiration extrinsèque (PEPe) ≤ 5 cmH₂O [5]. Ce niveau d'AI peut devoir être augmenté jusqu'à 10 cmH₂O quand on utilise un filtre échangeur de chaleur et d'humidité pour des patients potentiellement difficiles à sevrer du fait de la sévérité de la maladie sous-jacente, telle qu'une BPCO [54]. À noter qu'une méta-analyse physiologique récente retrouve une diminution du travail respiratoire du patient y compris pour moins de 7 cmH₂O d'AI [55]. En effet, la grande technicité des respirateurs modernes (gestion de l'électronique et sensibilité des valves notamment) explique probablement que la valeur de 7 cm de travaux physiologiques « vieux » d'une vingtaine d'années soit devenue discutable et révisable à la baisse. L'adjonction d'une PEPe n'est pas indispensable lors de l'épreuve de VS, mais peut être utile pour faciliter le déclenchement du cycle inspiratoire, notamment s'il existe une PEP intrinsèque [56]. Toutefois, il faut savoir qu'un faible niveau de PEPe pourrait masquer une dysfonction ventriculaire gauche sous-jacente [57] et augmenter ainsi le risque d'échec de l'extubation [58]. Deux études princeps randomisées, ayant comparé la méthode « historique » du tube en T à la technique en AI, ont démontré une équivalence du taux de succès du sevrage entre ces deux modalités [44, 45]. Cependant, un travail a pu montrer que certains patients ayant échoué à une épreuve de VS sur pièce en T pouvaient être extubés avec succès après une épreuve en AI [59], suggérant que le test sur pièce en T peut s'avérer plus « difficile » à tolérer et donc surestimer le risque d'échec du sevrage contrairement à l'AI. La surveillance clinique et paraclinique de l'épreuve de VS est par ailleurs d'autant plus facilitée et sécurisée avec l'AI que le patient est maintenu connecté au ventilateur, avec préservation des éléments de surveillance de celui-ci. L'AI permet aussi de préserver une excellente qualité d'humidification des voies aériennes comparativement au tube en T notamment lorsqu'il est utilisé sans filtre. Si ce point peut paraître anecdotique au décours d'une brève épreuve de VS couronnée de succès, il pourrait ne plus l'être si ces épreuves doivent se répéter et/ou être prolongées. Enfin, réaliser un test de VS en AI peut éviter l'usage d'un consommable supplémentaire.

Différentes études se sont intéressées à la durée optimale du test de ventilation spontanée [60, 61]. Alors que la durée historiquement proposée était de 2 heures, il a été montré chez la majorité des patients qu'une durée de 30 minutes pouvait suffire pour prédire de façon perti-

nente le risque d'échec de l'extubation [60]. Néanmoins, un test de 2 heures peut aussi permettre de dépister des échecs tardifs, c'est-à-dire survenant entre 30 et 120 minutes, au sein d'une population de patients suspectés d'être difficiles à sevrer [62]. Le test de sevrage doit donc être réalisé sur une durée minimale suffisante de 30 minutes, sans dépasser 2 heures, pour l'immense majorité des patients. À noter qu'un mode de VS de type CPAP (*continuous positive airway pressure*) a également pu être proposé pour réaliser cette épreuve [5].

La tolérance du test de VS sera jugée sur des critères cliniques simples tels que les paramètres respiratoires (dyspnée, fréquence respiratoire, SpO₂, signes de détresse respiratoire, évolution pour un patient donné du Vt expiré en AI), cardiovasculaires (pouls, pression artérielle), le niveau de vigilance et des critères de bonne tolérance globale (absence de sueur, d'agitation) [5]. Lorsque l'épreuve de VS est un succès, il est recommandé de procéder à l'extubation du patient dans les suites immédiates [12], non sans avoir évalué préalablement l'efficacité de la toux et éliminé un encombrement bronchique important [23, 63]. Bien que relativement peu étudiée, la kinésithérapie respiratoire est reconnue comme essentielle après toute extubation, d'autant plus que le patient a présenté des difficultés de sevrage [12]. La survenue d'un critère d'échec doit conduire à l'arrêt immédiat du test et à la reprise de la VM selon le mode et les réglages préalablement choisis [5]. Une gazométrie artérielle, en fin d'épreuve de VS, peut se discuter essentiellement pour dépister une hypercapnie (PaCO₂ > 45 mmHg). En effet, cette hypercapnie constitue maintenant un critère reconnu pour proposer de recourir à la VNI post-extubation [12, 31].

Pour éviter les risques d'une VM indûment prolongée et ceux de l'échec du sevrage, il apparaît donc essentiel que chaque équipe s'approprie l'une de ces deux méthodes simples d'épreuve de sevrage, idéalement dans le cadre d'une conduite des soins formalisée mise en œuvre au quotidien pour un patient donné.

Il n'existe pas actuellement de recommandation précise quant à l'évaluation des troubles de la déglutition avant et après l'extubation. Cependant, il a été démontré que les troubles de déglutition post-extubation pouvaient être associés à la survenue de pneumopathies, d'une ré-intubation, d'une augmentation de la mortalité hospitalière et de la durée d'hospitalisation [64]. Le dépistage des troubles de la déglutition peut être proposé notamment chez les patients âgés ou avec une durée de ventilation mécanique prolongée [65].

Stratégie du sevrage en fonction des groupes de sevrage

L'intérêt majeur de la classification de l'issue du sevrage de la VM en trois groupes, telle que précédemment exposée, est de différencier des situations bien distinctes auxquelles il est possible de rattacher des démarches physiopathologiques propres. Ainsi la problématique des patients dont le sevrage s'avère simple est de ne pas les méconnaître et donc de ne pas retarder inutilement leur extubation. C'est le principal objectif de la recherche quotidienne des critères de sevrabilité qui, une fois réunis, autorisent la réalisation d'une épreuve de sevrage en VS.

Dès qu'existent des difficultés de sevrage (sevrage difficile voire prolongé de la classification), une recherche rigoureuse des mécanismes physiopathologiques potentiellement en cause dans cet échec s'impose [66] (tableau 81.1). Ces différents mécanismes d'échec du sevrage et/ou de l'extubation et leurs modalités de prise en charge sont par ailleurs développés dans d'autres chapitres de ce traité. Le recours à la VNI post-extubation constitue l'une de ces modalités.

Enfin, lorsque l'échec du sevrage persiste, sans qu'il y ait consensus sur la définition de cette persistance, le patient peut alors entrer dans la catégorie du sevrage « prolongé ». À ce stade, ces patients relèvent potentiellement d'une prise en charge spécifique multidisciplinaire au sein d'unités spécialisées [67, 68]. En effet, ils risquent fortement de devenir des patients « chroniques » de réanimation dont la durée de séjour dépasse largement celle des durées de séjour classiques dans ces services. Une certaine proportion d'entre eux n'est plus, au sens vital, dépendante que de la ventilation mécanique ; cependant, ils souffrent souvent également de dénutrition, de neuromyopathie acquise, de troubles de la déglutition, de syndromes confusionnels, etc., conséquences d'une réanimation lourde et souvent prolongée. La déventilation devra alors toujours être tentée en optimisant au quotidien chacun des facteurs susceptibles d'entretenir la dépendance ventilatoire. La durée de celle-ci devra faire poser la question du recours à la trachéotomie, dont il faudra pouvoir juger préalablement au mieux du caractère transitoire ou définitif, et tout en sachant que cette problématique demeure très dépendante des habitudes de service. Rappelons à ce sujet qu'il n'y a pas, dans la lit-

térature, d'argument pour recourir à une trachéotomie dite précoce (< 10 jours de VM) dans le seul but d'améliorer la prise en charge du sevrage de la VM [69]. Néanmoins, il existe des arguments en faveur du recours à la trachéotomie en situation de sevrage de la VM prolongé. Elle peut en effet permettre une moindre sédation [70], une meilleure sécurisation des voies aériennes, une diminution du travail respiratoire via une diminution des résistances des voies aériennes [71], une alternance ventilation-déventilation plus facile, une mobilisation et une autonomisation plus précoces [72].

L'un des avantages théoriques de la trachéotomie est aussi de pouvoir faciliter la sortie du patient du service de réanimation vers une structure d'aval adaptée, de type unités de soins intensifs ou de surveillance continue respiratoires, voire une unité spécifique dédiée au sevrage ventilatoire et à la réhabilitation, et par conséquent de permettre de libérer des lits de réanimation. En France, se développent peu à peu quelques unités spécifiquement dédiées au sevrage prolongé de la ventilation mécanique [73, 74]. Ces unités existent depuis de nombreuses années aux États-Unis (*specialised weaning units*) ainsi que dans d'autres pays européens tels que l'Allemagne [75] et l'Italie [76]. Les données publiées suggèrent que les patients longuement ventilés peuvent bénéficier d'une prise en charge individualisée et pluridisciplinaire dans de telles structures spécialisées [75-81].

Ainsi, dans une étude multicentrique américaine (23 centres) ayant inclus 1 419 patients trachéotomisés, 25 % des patients décédaient dans l'unité spécialisée, 31 % sortaient de l'unité sevrés du ventilateur et décanulés, 22 %

Tableau 81.1 Tableau récapitulatif des objectifs spécifiques, propositions d'action et causes les plus classiques de la poursuite de la VM selon le groupe de sevrage. Ce tableau est adapté de [66].

	Objectifs	Propositions d'action	Causes de prolongation de la VM
Groupe I Sevrage simple	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier patient paraissant prêt au sevrage - Réaliser alors une EVS* 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Screening</i> précoce systématique - Gestion de la sédation - EVS de 30' à 120' - Implication +++ équipe dans le sevrage - Considérer modalité automatique de sevrage 	<ul style="list-style-type: none"> - Sédation excessive - Assistance ventilatoire excessive - Alcalose métabolique - Usage de la VACI**
Groupe II Sevrage difficile	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier et traiter les causes réversibles d'échec - Réunir dès que possible les conditions d'une nouvelle EVS 	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation par échographie cardiaque - Analyse de la mécanique respiratoire - Discuter VNI au décours de l'extubation - Discuter test de fuite avant extubation - Mobilisation précoce - Doser le Nt-pro BNP 	<ul style="list-style-type: none"> - Surcharge hydrosodée - Dysfonction cardiaque gauche - Encombrement trachéobronchique sévère - PAVM*** - Faiblesse neuromusculaire acquise en réanimation - Dyspnée laryngée sévère - Délirium-Anxiété
Groupe III Sevrage prolongé	<ul style="list-style-type: none"> - Détecter les <i>chronic critically ill patients</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Discuter prise en charge en unité spécifique de sevrage - Prise en charge multidisciplinaire - Mobilisation - Discuter la trachéotomie - Réduction progressive du support ventilatoire - Réduction progressive du diamètre de la canule de trachéotomie 	<ul style="list-style-type: none"> - Pathologie neurologique centrale - Insuffisance respiratoire ou cardiaque chronique - Dénutrition sévère - Faiblesse neuromusculaire acquise en réanimation - Dépression

* EVS : épreuve de ventilation spontanée. ** VACI : ventilation assistée contrôlée intermittente (*synchronized intermittent mandatory ventilation* ou SIMV)
 *** PAVM : pneumopathie acquise sous ventilation mécanique.

sevrés mais non décanulés, 16 % restaient trachéotomisés et dépendants de la ventilation et 6 % sortaient décanulés mais recevaient une VNI au long cours [82, 83]. Dans une série monocentrique du Royaume-Uni, seulement 20 % des patients BPCO ne pouvaient pas être sevrés alors que la proportion des patients non sevrables était de 60 % chez les patients atteints de maladie neuromusculaire [84]. La durée de ventilation, la durée d'hospitalisation mais aussi la fréquence des accidents de décanulation apparaissent réduites par une prise en charge multidisciplinaire dans ces unités spécialisées [77]. Dans tous les cas, une démarche progressive et systématique doit être entreprise pour appréhender au mieux les raisons de la dépendance du patient au ventilateur et/ou à la canule de trachéotomie. Parallèlement, un programme de réhabilitation globale doit être défini avec pour objectif la restauration de la nutrition, du sommeil, de la motricité et de la ventilation spontanée. Comme chez le patient intubé, le sevrage de la canule de trachéotomie peut faire appel à des périodes de VS sur canule ou à l'AI. Dans le contexte de trachéotomie, la VS sur canule pourrait s'avérer plus intéressante que l'AI pour raccourcir la durée du sevrage [85, 86]. Une autre étude prospective randomisée récente suggère aussi que ventiler les patients à ballonnet dégonflé permettrait d'écourter le sevrage de la ventilation sur trachéotomie, de diminuer les infections et d'améliorer la déglutition [86].

Finalement, la décision du retrait de la canule de trachéotomie doit être guidée par l'application d'arbres décisionnels qui proposent différentes démarches selon que sont réunis ou non différents prérequis traduisant le contrôle ou la résolution du problème ayant amené à la trachéotomie, la capacité à tolérer des périodes prolongées de VS et à tousser efficacement, la capacité à déglutir et à se drainer [87, 88]. Ainsi, pour tous les patients, les étapes amenant au retrait de la canule de trachéotomie comportent une phase de reprise de la VS puis de la parole, une évaluation de la capacité à expectorer et à déglutir, et idéalement une reprise de l'alimentation. L'exploration des voies aériennes supérieures ne semble pas devoir être systématique en l'absence de symptomatologie clinique [89].

Enfin, des études prospectives randomisées seront encore nécessaires pour déterminer l'éventuelle place de la VNI appliquée en relais de la trachéotomie, en particulier chez le patient BPCO [90].

Stratégie automatisée du sevrage de la ventilation mécanique et évolutions technologiques du sevrage

Les aspects décrits plus haut s'inscrivent dans le cadre d'une stratégie dite « conventionnelle » du sevrage de la VM. Pour pallier les difficultés d'ordre organisationnel des procédures « standardisées » du sevrage, voire aux difficultés de sevrage rencontrées, une modalité automatisée du sevrage/extubation peut éventuellement être proposée. Le dispositif actuellement le plus abouti est représenté par le Smartcare® (Dräger, Lubeck, Allemagne), logiciel de sevrage automatisé utilisant l'AI comme mode de ventilation, disponible sur certains ventilateurs de réanimation de dernière génération [91]. Il a été spécifiquement développé avec la par-

ticipation active de cliniciens experts du sevrage pour la conduite du sevrage de la ventilation mécanique en tenant compte à la fois du volume courant, de la fréquence respiratoire et du CO₂ de fin d'expiration du patient concerné. Le Smartcare® permet ainsi, grâce à son algorithme décisionnel, d'ajuster plus ou moins rapidement le niveau d'AI et d'amener éventuellement le patient jusqu'à un faible niveau d'AI (7 cmH₂O), équivalent à celui utilisé pour une épreuve de sevrage. L'intérêt d'un tel dispositif a pu être démontré pour réduire les durées de sevrage, de la VM et du séjour en réanimation [92], voire diminuer le taux d'échec de l'extubation et le recours à la trachéotomie [93]. Ces résultats restent néanmoins controversés et doivent être mis en balance avec la stratégie développée par les cliniciens au quotidien pour le sevrage de la VM de leurs patients, les effectifs des équipes, la formation, la motivation du personnel infirmier et la mise en place ou non de protocoles de soins pour assurer ce sevrage [94]. Par ailleurs, contrairement au sevrage de la VM « tout-venant », le sevrage automatisé n'a pas été évalué jusque-là chez les patients les plus difficiles à sevrer – cette population représentant potentiellement celle à davantage cibler dans l'avenir. Si l'application du sevrage « automatisé » de la VM est envisageable en routine à condition de disposer des ventilateurs spécifiques, ses résultats doivent donc tenir compte des pratiques de sevrage de l'équipe, des moyens humains à disposition et des populations concernées.

Par ailleurs, de récentes évolutions techniques proposées par les industriels pourraient ouvrir de nouvelles perspectives. Le recours à l'oxygénothérapie à haut débit (OHD) en prévention de l'échec d'extubation [95] a été évalué par plusieurs travaux dans des circonstances variables (notamment relatives aux facteurs de risque d'échec d'extubation et au recours à la ventilation artificielle), du fait d'arguments indéniables : conditionnement des gaz inspirés par réchauffement et humidification active, contrôle de la fraction inspirée en oxygène (FI_{O₂}), couverture du débit inspiratoire du patient, effet pression expiratoire positive, lavage de l'espace mort anatomique, bonne tolérance, bénéfice potentiel dans l'IRA hypoxémique et son utilisation croissante en service de réanimation [96]. Les dernières RFE ont proposé d'appliquer l'OHD en post-extubation pour pouvoir prévenir la survenue d'une IRA post-extubation dans deux situations : en postopératoire de chirurgie cardi thoracique et chez les patients hypoxémiques à faibles risques de réintubation [12]. À ce jour, la technique d'épuration extracorporelle du dioxyde de carbone (ECCO₂R) n'a pas trouvé sa place dans l'algorithme décisionnel du sevrage, y compris pour des patients présentant une hypercapnie chronique sévère.

Sevrage de la ventilation mécanique : situations d'exception

Il existe des situations où l'espoir de sevrage complet et définitif de la VM est finalement très faible, voire nul. Il peut s'agir de patients atteints d'insuffisance respiratoire chronique terminale, pour lesquels l'objectif à atteindre pourra être celui d'un sevrage partiel au cours du nyctémère, notamment *via* une trachéotomie définitive. La dépendance

ventilatoire peut aussi relever d'une cause neurologique centrale (lésions cérébrales ou médullaires) ou non (myopathies, sclérose latérale amyotrophique) plus ou moins évolutive. Dans le cas d'une lésion médullaire haute (C1-C4), une réflexion pourra être engagée pour recourir à une stimulation du diaphragme [97]. Si ces situations sont connues avant la mise sous VM, il convient idéalement d'évaluer dans un premier temps le bénéfice potentiel de cette ventilation artificielle et les enjeux éthiques soulevés.

Dans tous les cas, ces patients *a priori* impossibles à sevrer de la ventilation mécanique diffèrent sensiblement des patients décrits précédemment dont le sevrage est certes prolongé, mais potentiellement envisageable.

En somme, le sevrage de la ventilation mécanique relève de plusieurs étapes initiées potentiellement très précocement, et dont l'enchaînement cohérent doit permettre dans les meilleurs délais de libérer le patient de sa suppléance ventilatoire. Dans la majorité des cas, ce sevrage sera finalement simple, dépendant alors essentiellement de la promptitude du clinicien à le dépister et à l'effectuer. Dans les autres cas, la démarche est plus complexe, et parfois relevant d'une attitude spécifique y compris éventuellement en milieu dédié. Plusieurs points de définition et de stratégie sont amenés à devoir être précisés à court terme. Le retrait de la prothèse trachéale (sonde d'intubation, trachéotomie) permettant la ventilation invasive est une procédure chronologiquement associée, qui parfois relève d'une problématique différente. À bien des égards, elle apparaît encore moins codifiée.

L'essentiel à retenir

1. Chercher en permanence la dose minimale-efficace pour la sédation-analgésie
2. Prise en charge effective de la pathologie ayant nécessité la ventilation mécanique
3. Limiter le risque de lésions diaphragmatiques tout en se méfiant des lésions pulmonaires induites par la ventilation
4. Repérer au plus tôt les critères de sevrabilité :
 - critères généraux : absence de vasopresseurs ou inotropes, absence de sédation, réponse adaptée aux ordres simples.
 - critères respiratoires : $FiO_2 \leq 50\%$, $PEP \leq 5$, présence d'une toux efficace, sécrétions bronchiques peu abondantes.
5. Réaliser une épreuve en ventilation spontanée dès que les critères de sevrabilité sont présents. Cette épreuve de sevrage doit être réalisée sur une durée minimale de 30 minutes sans dépasser 2 heures.
6. Surveiller la tolérance de l'épreuve de sevrage selon :
 - les paramètres respiratoires : dyspnée, fréquence respiratoire, SpO_2 , volume courant expiré (VTE) en AI;
 - les paramètres cardiovasculaires : pouls et pression artérielle;
 - les paramètres généraux : conscience, agitation, sueurs.
7. L'extubation doit être envisagée dans les suites immédiates d'une épreuve de sevrage bien tolérée.
8. En cas d'échec de l'épreuve de sevrage, arrêt immédiat du test et rechercher les mécanismes potentiellement en cause (tableau 81.1)
9. Lorsque l'échec de sevrage persiste, il doit faire poser la question du recours à la trachéotomie.
10. Discuter du recours à un support ventilatoire (VNI, OHD) pour prévenir l'échec de l'extubation (cf. chapitre 84)

Références

- [1] Fagon JY, Chastre J, Vuagnat A, Trouillet JL, Novara A, Gibert C. Nosocomial pneumonia and mortality among patients in intensive care units. *JAMA* 1996; 275(11) : 866–9.
- [2] Muscedere JG, Day A, Heyland DK. Mortality, Attributable Mortality, and Clinical Events as End Points for Clinical Trials of Ventilator-Associated Pneumonia and Hospital-Acquired Pneumonia. *Clin Infect Dis* 2010; 51(Suppl1) : S120–5.
- [3] Epstein SK, Ciubotaru RL. Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158(2) : 489–93.
- [4] Rothaar RC, Epstein SK. Extubation failure : magnitude of the problem, impact on outcomes, and prevention. *Curr Opin Crit Care* 2003; 9(1) : 59–66.
- [5] Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 2007; 29(5) : 1033–56.
- [6] Esteban A, Alia I, Ibañez J, Benito S, Tobin MJ. Modes of Mechanical Ventilation and Weaning : A National Survey of Spanish Hospitals. *Chest* 1994; 106(4) : 1188–93.
- [7] Esteban A, Ferguson ND, Meade MO, Frutos-Vivar F, Apezteguia C, Brochard L, et al. Evolution of Mechanical Ventilation in Response to Clinical Research. *Am J Respir Crit Care Med* 2008; 177(2) : 170–7.
- [8] McConville JF, Kress JP. Weaning Patients from the Ventilator. *N Engl J Med* 2012; 367(23) : 2233–9.
- [9] Cooper LM, Linde-Zwirble WT. Medicare intensive care unit use : Analysis of incidence, cost, and payment*. *Crit Care Med* 2004; 32(11) : 2247.
- [10] Milic-Emili J. Is. Weaning an Art or a Science? *Am Rev Respir Dis* 1986; 134(5) : 1107–8.
- [11] Frutos-Vivar F, Esteban A. Our paper 20 years later : how has withdrawal from mechanical ventilation changed? *Intensive Care Med* 2014; 40(10) : 1449–59.
- [12] Quintard H, l'Her E, Pottecher J, Adnet F, Constantin JM, De Jong A, et al. Intubation and extubation of the ICU patient. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2017; 36(5) : 327–41.
- [13] Richard J, Beydon L, Cantagrel S, Cuvelier A, Fauroux B, Garo B, et al. Sevrage de la ventilation mécanique (à l'exclusion du nouveau-né et du réveil d'anesthésie). *Réanimation* 2001; 10(8) : 699–705.
- [14] Béduneau G, Pham T, Schortgen F, Piquilloud L, Zogheib E, Jonas M, et al. Epidemiology of Weaning Outcome according to a New Definition. The WIND Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2016; 195(6) : 772–83.
- [15] Girard TD, Kress JP, Fuchs BD, Thomason JW, Schweickert WD, Pun BT, et al. Efficacy and safety of a paired sedation and ventilator weaning protocol for mechanically ventilated patients in intensive care (Awakening and Breathing Controlled trial) : a randomised controlled trial. *The Lancet* 2008; 371(9607) : 126–34.
- [16] Sassoon CSH, Zhu E, Caozzo VJ. Assist-Control Mechanical Ventilation Attenuates Ventilator-induced Diaphragmatic Dysfunction. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170(6) : 626–32.
- [17] Goligher EC, Ferguson ND, Brochard LJ. Clinical challenges in mechanical ventilation. *Lancet* 2016; 387(10030) : 1856–66.
- [18] Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, et al. Rapid Disuse Atrophy of Diaphragm Fibers in Mechanically Ventilated Humans. *N Engl J Med* 2008; 358(13) : 1327–35.
- [19] Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet J-P, Rabuel C, et al. Rapidly Progressive Diaphragmatic Weakness and Injury during Mechanical Ventilation in Humans. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183(3) : 364–71.
- [20] Goligher EC, Brochard LJ, Reid WD, Fan E, Saarela O, Slutsky AS, et al. Diaphragmatic myotrauma : a mediator of prolonged ventilation and poor patient outcomes in acute respiratory failure. *Lancet Respir Med* 2019; 7 : 90–8.

- [21] Khamiees M, Raju P, DeGirolamo A, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA. Predictors of Extubation Outcome in Patients Who Have Successfully Completed a Spontaneous Breathing Trial. *Chest* 2001; 120(4) : 1262–70.
- [22] Skoretz SA, Flowers HL, Martino R. The incidence of dysphagia following endotracheal intubation : a systematic review. *Chest* 2010; 137(3) : 665–73.
- [23] Beuret P, Roux C, Auclair A, Nouridine K, Kaaki M, Carton M-J. Interest of an objective evaluation of cough during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2009; 35(6) : 1090–3.
- [24] François B, Bellissant E, Gissot V, Desachy A, Normand S, Boulain T, et al. 12-h pretreatment with methylprednisolone versus placebo for prevention of postextubation laryngeal oedema : a randomised double-blind trial. *Lancet Lond Engl* 2007; 369(9567) : 1083–9.
- [25] Cheng K-C, Hou C-C, Huang H-C, Lin S-C, Zhang H. Intravenous injection of methylprednisolone reduces the incidence of postextubation stridor in intensive care unit patients. *Crit Care Med* 2006; 34(5) : 1345.
- [26] Tadié J-M, Behm E, Lecuyer L, Benhmamed R, Hans S, Brasnu D, et al. Post-intubation laryngeal injuries and extubation failure : a fiberoptic endoscopic study. *Intensive Care Med* 2010; 36(6) : 991–8.
- [27] Ochoa ME, del Carmen Marín M, Frutos-Vivar F, Gordo F, Latour-Pérez J, Calvo E, et al. Cuff-leak test for the diagnosis of upper airway obstruction in adults : a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 2009; 35(7) : 1171.
- [28] McCaffrey J, Farrell C, Whiting P, Dan A, Bagshaw SM, Delaney AP. Corticosteroids to prevent extubation failure : a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 2009; 35(6) : 977.
- [29] Hess DR. The Role of Noninvasive Ventilation in the Ventilator Discontinuation Process. *Respir Care* 2012; 57(10) : 1619–25.
- [30] Girault C, Bubenheim M, Abroug F, Diehl JL, Elatrous S, Beuret P, et al. Noninvasive Ventilation and Weaning in Patients with Chronic Hypercapnic Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 184(6) : 672–9.
- [31] Thille AW, Boissier F, Ben Ghezala H, 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(3) : 613.
- [32] Funk G-C, Anders S, Breyer M-K, Burghuber OC, Edelmann G, Heindl W, et al. Incidence and outcome of weaning from mechanical ventilation according to new categories. *Eur Respir J* 2010; 35(1) : 88–94.
- [33] Sellares J, Ferrer M, Cano E, Loureiro H, Valencia M, Torres A. Predictors of prolonged weaning and survival during ventilator weaning in a respiratory ICU. *Intensive Care Med* 2011; 37(5) : 775–84.
- [34] Tonnelier A, Tonnelier J-M, Nowak E, Gut-Gobert C, Prat G, Renault A, et al. Clinical Relevance of Classification According to Weaning Difficulty. *Respir Care* 2011; 56(5) : 583–90.
- [35] Peñuelas O, Frutos-Vivar F, Fernández C, Anzueto A, Epstein SK, Apezteguia C, et al. Characteristics and Outcomes of Ventilated Patients According to Time to Liberation from Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 184(4) : 430–7.
- [36] Jeong BH, Ko MG, Nam J, Yoo H, Chung CR, Suh GY, et al. Differences in clinical outcomes according to weaning classifications in medical intensive care units. *PLoS One* 2015; 10(4). e0122810.
- [37] Razazi K, Boissier F, Neuville M, Jochmans S, Tchir M, May F, et al. Pleural effusion during weaning from mechanical ventilation : a prospective observational multicenter study. *Ann Intensive Care* 2018; 8(1) : 103.
- [38] Jeong B-H, Lee KY, Nam J, Ko MG, Na SJ, Suh GY, et al. Validation of a new WIND classification compared to ICC classification for weaning outcome. *Ann Intensive Care* 2018; 8(1) : 115.
- [39] De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Durand M-C, Malissin I, Rodrigues P, Cerf C, et al. Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness. *Crit Care Med* 2007; 35(9) : 2007–15.
- [40] Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, Nigos C, Pawlik AJ, Esbrook CL, et al. Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients : a randomised controlled trial. *Lancet Lond Engl* 2009; 373(9678) : 1874–82.
- [41] Girard TD, Alhazzani W, Kress JP, Ouellette DR, Schmidt GA, Truitt JD, et al. An Official American Thoracic Society/American College of Chest Physicians Clinical Practice Guideline : Liberation from Mechanical Ventilation in Critically Ill Adults. *Rehabilitation Protocols, Ventilator Liberation Protocols, and Cuff Leak Tests*. *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 195(1) : 120–33.
- [42] Thille AW, Cabello B, Galia F, Lyazidi A, Brochard L. Reduction of patient-ventilator asynchrony by reducing tidal volume during pressure-support ventilation. *Intensive Care Med* 2008; 34(8) : 1477–86.
- [43] Esteban A, Frutos-Vivar F, Muriel A, Ferguson ND, Peñuelas O, Abraira V, et al. Evolution of Mortality over Time in Patients Receiving Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 188(2) : 220–30.
- [44] Brochard L, Rauss A, Benito S, Conti G, Mancebo J, Rekié N, et al. Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150(4) : 896–903.
- [45] Esteban A, Solsona JFA. Comparison of Four Methods of Weaning. *N Engl J Med* 1995; 6.
- [46] Terzi N, Piquilloud L, Rozé H, Mercat A, Lofaso F, Delisle S, et al. Clinical review : Update on neurally adjusted ventilatory assist - report of a round-table conference. *Crit Care* 2012; 16(3) : 225.
- [47] Aguirre-Bermeo H, Bottiroli M, Italiano S, Roche-Campo F, Santos JA, Alonso M, et al. Pressure support ventilation and proportional assist ventilation during weaning from mechanical ventilation. *Med Intensiva* 2014; 38(6) : 363–70.
- [48] Meade M, Guyatt G, Cook D, Griffith L, Sinuff T, Kergl C, et al. Predicting Success in Weaning From Mechanical Ventilation. *Chest* 2001; 120(6, Supplement) : 400S–24S.
- [49] Ely EW, Baker AM, Dunagan DP, Burke HL, Smith AC, Kelly PT, et al. Effect on the Duration of Mechanical Ventilation of Identifying Patients Capable of Breathing Spontaneously. *N Engl J Med* 1996; 335(25) : 1864–9.
- [50] Ely EW, Meade MO, Haponik EF, Kollef MH, Cook DJ, Guyatt GH, et al. Mechanical Ventilator Weaning Protocols Driven by Nonphysician Health-Care Professionals : Evidence-Based Clinical Practice Guidelines. *Chest* 2001; 120(6, Supplement) : 454S–63S.
- [51] Krishnan JA, Moore D, Robeson C, Rand CS, Fessler HE. A Prospective, Controlled Trial of a Protocol-based Strategy to Discontinue Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 169(6) : 673–8.
- [52] Chatburn RL, Deem S. Should Weaning Protocols Be Used With All Patients Who Receive Mechanical Ventilation? *Respir Care* 2007; 52(5) : 609–21.
- [53] Yang KL, Tobin MJ. A Prospective Study of Indexes Predicting the Outcome of Trials of Weaning from Mechanical Ventilation. *N Engl J Med* 1991; 324(21) : 1445–50.
- [54] Girault C, Breton L, Richard J-C, Tamion F, Vandelet P, Aboab J, et al. Mechanical effects of airway humidification devices in difficult to wean patients*. *Crit Care Med* 2003; 31(5) : 1306.
- [55] Sklar MC, Burns K, Rittayamai N, Lanys A, Rauseo M, Chen L, et al. Effort to Breathe with Various Spontaneous Breathing Trial Techniques. A Physiologic Meta-analysis. *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 195(11) : 1477–85.
- [56] Blanch L, Bernabé F, Lucangelo U. Measurement of Air Trapping, Intrinsic Positive End-Expiratory Pressure, and Dynamic Hyperinflation in Mechanically Ventilated Patients. *Respir Care* 2005; 50(1) : 110–24.
- [57] Cabello B, Thille AW, Roche-Campo F, Brochard L, Gómez FJ, Mancebo J. Physiological comparison of three spontaneous breathing trials in difficult-to-wean patients. *Intensive Care Med* 2010; 36(7) : 1171–9.

- [58] Frutos-Vivar F, Esteban A, Apezteguia C, González M, Arabi Y, Restrepo MI, et al. Outcome of reintubated patients after scheduled extubation. *J Crit Care* 2011; 26(5) : 502-9.
- [59] Ezingard E, Diconne E, Guyomarç'h S, Venet C, Page D, Gery P, et al. Weaning from mechanical ventilation with pressure support in patients failing a T-tube trial of spontaneous breathing. *Intensive Care Med* 2006; 32(1) : 165-9.
- [60] Esteban A, Alía I, Gordo F, Fernández R, Solsona JF, Vallverdú I, et al. Extubation Outcome after Spontaneous Breathing Trials with T-Tube or Pressure Support Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156(2) : 459-65.
- [61] Perren A, Domenighetti G, Mauri S, Genini F, Vizzardi N. Protocol-directed weaning from mechanical ventilation : clinical outcome in patients randomized for a 30-min or 120-min trial with pressure support ventilation. *Intensive Care Med* 2002; 28(8) : 1058-63.
- [62] Vallverdú I, Calaf N, Subirana M, Net A, Benito S, Mancebo J. Clinical Characteristics, Respiratory Functional Parameters, and Outcome of a Two-Hour T-Piece Trial in Patients Weaning from Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158(6) : 1855-62.
- [63] Frutos-Vivar F, Ferguson ND, Esteban A, Epstein SK, Arabi Y, Apezteguia C, et al. Risk Factors for Extubation Failure in Patients Following a Successful Spontaneous Breathing Trial. *Chest* 2006; 130(6) : 1664-71.
- [64] Macht M, Wimbish T, Clark BJ, Benson AB, Burnham EL, Williams A, et al. Postextubation dysphagia is persistent and associated with poor outcomes in survivors of critical illness. *Crit Care Lond Engl* 2011; 15(5) : R231.
- [65] Macht M, Wimbish T, Bodine C, Moss M. ICU-Acquired Swallowing Disorders. *Crit Care Med* 2013; 41(10) : 2396-405.
- [66] Beduneau G, Richard J, Brochard L. Prolonged respiratory insufficiency and ventilator dependence in the ICU. Oxford : OUP; 2014. p.649. [Textbook of Post-ICU Medicine : The Legacy of Critical Care. In : Stevens R.D, Hart N, Herridge M.S].
- [67] Perren A, Brochard L. Managing the apparent and hidden difficulties of weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2013; 39(11) : 1885-95.
- [68] Kahn JM. The evolving role of dedicated weaning facilities in critical care. *Intensive Care Med* 2010; 36(1) : 8-10.
- [69] Trouillet J-L, Combes A, Luyt C-E, Nieszkowska A, Chastre J. Trachéotomie précoce : la fin du débat? *Réanimation* 2011; 20(1) : 25-30.
- [70] Nieszkowska A, Combes A, Luyt C-E, Ksibi H, Trouillet J-L, Gibert C, et al. Impact of tracheotomy on sedative administration, sedation level, and comfort of mechanically ventilated intensive care unit patients. *Crit Care Med* 2005; 33(11) : 2527.
- [71] Diehl J-L, El Atrous S, Touchard D, Lemaire F, Brochard L. Changes in the Work of Breathing Induced by Tracheotomy in Ventilator-dependent Patients. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159(2) : 383-8.
- [72] Trouillet J-L, Luyt C-E, Guiguet M, Ouattara A, Vaissier E, Makri R, et al. Early percutaneous tracheotomy versus prolonged intubation of mechanically ventilated patients after cardiac surgery : a randomized trial. *Ann Intern Med* 2011; 154(6) : 373-83.
- [73] Beduneau G, Ardanuy C, Clabault K, Richard J. Prolonged Weaning from Mechanical Ventilation : Impact of A Specialised Weaning Unit. *Intensive Care Med* 2008; 34(Suppl 1) : S80.
- [74] Morawiec E, Delemazure J, Dres M, Mayaux J, Dangers L, Similowski T, et al. Prolonged ICU stays and difficult-to-wean-patients : first year of experience in a french Post ICU Rehabilitation Center. *Annals of Intensive Care* 2018; 8(Suppl 1) : S127.
- [75] Schönhofer B, Euteneuer S, Nava S, Suchi S, Köhler D. Survival of mechanically ventilated patients admitted to a specialised weaning centre. *Intensive Care Med* 2002; 28(7) : 908-16.
- [76] Vitacca M, Paneroni M, Peroni R, Barbano L, Dodaj V, Piaggi G, et al. Effects of a Multidisciplinary Care Program on Disability, Autonomy, and Nursing Needs in Subjects Recovering From Acute Respiratory Failure in a Chronic Ventilator Facility. *Respir Care* 2014; 59 : 1863-71.
- [77] Cheung NH, Tracheostomy Napolitano LM. Epidemiology, Indications, Timing, Technique, and Outcomes Discussion. *Respir Care* 2014; 59(6) : 895-919.
- [78] MacIntyre NR, Epstein SK, Carson S, Scheinhorn D, Christopher K, Muldoon S. Management of Patients Requiring Prolonged Mechanical Ventilation. Report of a NAMDRG Consensus Conference. *Chest* 1 déc 2005; 128(6) : 3937-54.
- [79] White AC. Long-Term Mechanical Ventilation : Management Strategies. *Respir Care* 2012; 57(6) : 889-99.
- [80] Scheinhorn DJ, Chao DC, Stearn-Hassenpflug M, Wallace WA. Outcomes in post-ICU mechanical ventilation : a therapist-implemented weaning protocol. *Chest* 2001; 119(1) : 236-42.
- [81] Ambrosino N, Venturelli E, Vaghegginì G, Clini E. Rehabilitation, weaning and physical therapy strategies in chronic critically ill patients. *Eur Respir J* 2012; 39(2) : 487-92.
- [82] Scheinhorn DJ, Hassenpflug MS, Votto JJ, Chao DC, Epstein SK, Doig GS, et al. Ventilator-Dependent Survivors of Catastrophic Illness Transferred to 23 Long-term Care Hospitals for Weaning From Prolonged Mechanical Ventilation. *Chest* 2007; 131(1) : 76-84.
- [83] Scheinhorn DJ, Hassenpflug MS, Votto JJ, Chao DC, Epstein SK, Doig GS, et al. Post-ICU Mechanical Ventilation at 23 Long-term Care Hospitals : A Multicenter Outcomes Study. *Chest* 2007; 131(1) : 85-93.
- [84] Pilcher DV, Bailey MJ, Treacher DF, Hamid S, Williams AJ, Davidson AC. Outcomes, cost and long term survival of patients referred to a regional weaning centre. *Thorax* 2005; 60(3) : 187-92.
- [85] Jubran A, Grant BJB, Duffner LA, Collins EG, Lanuza DM, Hoffman LA, et al. Effect of Pressure Support vs Unassisted Breathing Through a Tracheostomy Collar on Weaning Duration in Patients Requiring Prolonged Mechanical Ventilation : A Randomized Trial. *JAMA* 2013; 309(7) : 671-7.
- [86] Hernandez G, Pedrosa A, Ortiz R, Cruz Accuaroni M del M, Cuena R, Vaquero Collado C, et al. The effects of increasing effective airway diameter on weaning from mechanical ventilation in tracheostomized patients : a randomized controlled trial. *Intensive Care Med* 2013; 39(6) : 1063-70.
- [87] Ceriana P, Carlucci A, Navalesi P, Rampulla C, Delmastro M, Piaggi G, et al. Weaning from tracheotomy in long-term mechanically ventilated patients : feasibility of a decisional flowchart and clinical outcome. *Intensive Care Med* 2003; 29(5) : 845-8.
- [88] Beduneau G, Bouchetemple P, Muller A. De la trachéotomie à la décanulation : quels sont les problèmes dans une unité de sevrage? *Réanimation* 2007; 16(1) : 42-8.
- [89] Kost KM. Endoscopic Percutaneous Dilatational Tracheotomy : A Prospective Evaluation of 500 Consecutive Cases. *The Laryngoscope* 2005; 115(S107) : 1-30.
- [90] Quinnell TG, Pilsworth S, Shneerson JM, Smith IE. Prolonged Invasive Ventilation Following Acute Ventilatory Failure in COPD : Weaning Results, Survival, and the Role of Noninvasive Ventilation. *Chest* 2006; 129(1) : 133-9.
- [91] Burns KEA, Lellouche F, Lessard MR. Automating the weaning process with advanced closed-loop systems. *Intensive Care Med* 2008; 34(10) : 1757-65.
- [92] Lellouche F, Mancebo J, Jolliet P, Roessler J, Schortgen F, Dojat M, et al. A Multicenter Randomized Trial of Computer-driven Protocolized Weaning from Mechanical Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 174(8) : 894-900.
- [93] Burns KEA, Meade MO, Lessard MR, Hand L, Zhou Q, Keenan SP, et al. Wean Earlier and Automatically with New Technology (the WEAN Study). A Multicenter, Pilot Randomized Controlled Trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 187(11) : 1203-11.
- [94] Rose L, Schultz MJ, Cardwell CR, Jouve P, McAuley DF, Blackwood B. Automated versus non-automated weaning for reducing the duration of mechanical ventilation for critically ill adults and children. *Cochrane Database Syst Rev* 2014; 6. CD009235.

- [95] Girault C, Béduneau G, Carpentier D, Misset B. Preventive post-extubation high-flow nasal oxygen therapy versus non-invasive ventilation : a substitutive or a complementary ventilatory strategy? *Ann Transl Med* 2017; 5(6) : 146.
- [96] Papazian L, Corley A, Hess D, Fraser JF, Frat J-P, Guitton C, et al. Use of high-flow nasal cannula oxygenation in ICU adults : a narrative review. *Intensive Care Med* 2016; 42(9) : 1336-49.
- [97] Le Pimpec-Barthes F, Gonzalez-Bermejo J, Hubsch J-P, Duguet A, Morélot-Panzini C, Riquet M, et al. Intrathoracic phrenic pacing : A 10-year experience in France. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2011; 142(2) : 378-83.