RÉSUMÉ

Introduction : Afin d'évaluer la sevrabilité des patients ventilés en réanimation, deux types d'épreuves ont été proposés : une épreuve en pièce en T (VST), l'autre en ventilation spontanée en aide inspiratoire (VSAI), sans que l'une ou l'autre n'ait montré sa supériorité. L'objectif principal de l'étude était de comparer la dépense énergétique (DE) mesurée par calorimétrie indirecte à l'issue de chacune des épreuves de sevrage. L'hypothèse était que la DE de l'épreuve en VST n'était pas supérieure à celle mesurée en VSAI. Les paramètres respiratoires, hémodynamiques, l'échec de l'extubation et sa prédictibilité étaient comparés.

Matériel et méthodes : L'étude était prospective, mono-centrique, randomisée, et en cross-over. Les patients inclus étaient ventilés depuis plus de 24 heures sur un respirateur *Engström Carestation*™ muni du module M-COVX™ de calcul de dépense énergétique et du *Patient Spirometry*™ (*Datex-Ohmeda Inc. a General Electric Compagny*, Madison, États-Unis). Ils étaient éligibles au protocole de sevrage ventilatoire selon les critères habituels. Après randomisation, les patients réalisaient successivement les deux épreuves de sevrage VSAI (AI +7, ZEEP), et VST dont la durée exacte était de 45 min chacune. À l'issue de chacune des deux épreuves était recueillie la DE. Une période de repos de 2 heures séparait les deux épreuves, les patients étaient alors ventilés en VSAI selon les paramètres antérieurs à la première épreuve.

Résultats : 58 patients ont été inclus au total, mais l'effectif final analysé en per-protocole était de 45 patients. La DE enregistrée à l'issue des 45 min d'épreuve n'était pas différente : [DE_{VSAI} = 2500 ± 1663 kcal/j ; DE_{VST} = 2287 ± 808 kcal/j, p = 0,24]. La DE en VSAI était plus faible que la DE en VST lorsque l'épreuve VSAI était réalisée en premier. Le taux d'échec à l'extubation était de 19 %. L'association des 2 épreuves offrait la meilleure spécificité et une valeur prédictive positive de l'échec de l'extubation. Les aires sous la courbe ROC de la VST (0,944 ± 0,04) et de l'association des 2 épreuves (0,945 ± 0,03) étaient quasi-identiques.

Conclusion : Selon notre étude, l'épreuve en VST n'exige pas une DE significativement plus importante et ne peut être incriminée comme responsable de la prolongation de la VM lors de son échec. La prédictibilité de l'échec de l'extubation est améliorée par l'addition des deux épreuves de sevrage, de valeur diagnostique complémentaire. L'objectif n'est pas de proposer un test de sevrage applicable au plus grand nombre mais d'identifier la minorité des patients vulnérables qui risque de décompenser après extubation. Notre étude propose d'après ces observations une nouvelle méthode diagnostique de sevrabilité par l'association d'une épreuve en VSAI et d'une épreuve en pièce en T.

Mots-clés : sevrage de la ventilation mécanique, dépense énergétique, calorimétrie indirecte, extubation.

ENERGY EXPENDITURE OF WEANING MECHANICAL VENTILATION. IMPACT ON PREDICTABILITY OF EXTUBATION FAILURE.

ABSTRACT

Introduction: In order to estimate the ability of liberating patients from mechanical ventilation in intensive care, two types of tests are proposed: T-tube circuit (VST) and pressure support ventilation (PSV), none of each has proved its superiority. The main objective of the study was to verify the hypothesis that the test in VST did not lead additional respiratory effort, compared with the PSV, in term of energy expenditure (EE). The respiratory parameters and hemodynamics, the failure of the extubation and its predictability are also observed.

Material and Methods: This study is a randomizer crossover controlled trial. The patients included into this study have been ventilated for more than 24 hours on a respirator Engström Carestation™ provided with the module M-COVX™ of calculation of EE and with the Patient Spirometry™ (Datex-Ohmeda Inc. a General Electric Compagny, Madison, the United States) and were eligible for the protocol of ventilatory weaning according to the usual criteria. They realized successively 2 tests of weaning (VSAI and VST) which exact duration was 45 min each. The 2 tests were separated by a rest period of 2 hours (washout period) during which the patients were ventilated in VSAI with the parameters previously used before the first test.

Results: 58 patients were included into the study, but the final focus group analyzed in per-protocol was 45 patients. EE registered at the end of the 45 minutes of test was not different

[DEVSAI = 2500 ± kcal / j 1663 ; DEVST = 2287 ± 808 kcal / j, p = 0,24]. EE in VSAI was lower than in VST when the test VSAI was realized in the first one, what was not the case for the test in VST. The test in VST offers the best sensibility. The association of 2 tests offers the best specificity and predictive positive value. Areas under the curve ROC of the VST, 0,944 ± 0,04, ($p < 0,0001$ compared with an AUC in 0,5), and of the association of 2 tests, 0,945 ± 0,03 ($p < 0,000$ compared with an AUC in 0,5), are almost identical.

Conclusion: The test in VST does not require EE significantly more important and cannot be responsible for the extension of the VM duration and its failure. The predictability of the failure of extubation is better by the additive effect of 2 tests of weaning. Our study which results remain to be confirmed by other works, proposes a new diagnostic method of weaning by the association of a test in VSAI of 45 min (AI + 7 cmH_2O, PEEP equal to 0) followed by a T-tube test of 45 min.

Keywords : Weaning from mechanical ventilation, Indirect calorimetry, Energy expenditure, Extubation, Randomized crossover controlled trial.

INTRODUCTION

L'extubation est l'étape ultime du sevrage ventilatoire. Elle met fin à la ventilation mécanique (VM) et à ses complications potentielles (1)(2). L'échec de l'extubation programmée survient dans environ 20 % des cas (3) et est défini par la reprise d'une assistance ventilatoire dans les 48 heures suivant un arrêt programmé (4)(5). Il est souvent associé à une morbi-mortalité augmentée (6)(7). L'enjeu du sevrage est de ne pas prolonger inutilement la VM et de n'extuber aucun patient à tort.

Dans ce but, il est recommandé d'effectuer une épreuve de sevrage (4), afin de reproduire les conditions de ventilation post-extubation. Deux types d'épreuves ont été proposés pour évaluer la sevrabilité des patients ventilés en réanimation : l'une épreuve en pièce en T (VST), l'autre en ventilation spontanée en aide inspiratoire (VSAI), aide inspiratoire (AI) égale à 7 et ZEEP (pression télé-expiratoire, PEEP, égale à 0) (4)(8)(9). La durée d'une épreuve de sevrage doit être comprise entre 30 et 120 min (4)(10).

Il n'existe pas de preuve solide dans la littérature de la supériorité de l'une ou l'autre des épreuves de sevrage en termes de prédictibilité de l'échec d'extubation ; les pratiques sont donc très variables selon les équipes, même si l'épreuve en VSAI semble préférée actuellement. Certains patients peuvent tolérer 30 à 60 % d'augmentation de leur charge respiratoire à l'ablation de la sonde d'intubation. Cette population sera peu à risque d'échec d'extubation (11). D'autres patients tolèrent parfaitement l'épreuve de sevrage et présentent cependant une détresse respiratoire immédiate en post-extubation.

Il a été admis qu'un faible niveau d'AI permettait de ne compenser que l'augmentation des résistances induites par le circuit du respirateur et de la sonde

d'intubation, d'où l'intérêt théorique de réaliser le test en VSAI plutôt qu'en VST (12)(13). Brochard *et al*. ont montré que le travail respiratoire en VST était en moyenne de 20 % supérieur à celui observé après extubation (14).

Cependant, le succès à l'épreuve en VSAI avec ou sans compensation de résistance du circuit ne semble pas strictement corrélé au succès de l'extubation. Straus *et al*. ont démontré expérimentalement que la charge résistive imposée lors de la VM était presque identique à celle imposée après extubation (15). L'épreuve en VST ne représenterait donc pas un défi supérieur par sa charge résistive additionnelle, mais serait un reflet réel des conditions respiratoires post-extubation (15)(16). Dans ce contexte, nous avons émis l'hypothèse que l'épreuve de sevrage en VST n'induisait pas de travail respiratoire disproportionné par rapport à l'épreuve en VSAI.

La dépense énergétique (DE) d'un patient intubé peut être évaluée par calorimétrie indirecte (CI). Cette évaluation du métabolisme durant une épreuve de sevrage pourrait nous permettre indirectement de quantifier le travail cardio-respiratoire et de comparer les deux épreuves de sevrage.

L'objectif principal de l'étude était de comparer prospectivement et en cross-over la DE des deux épreuves de sevrage en VST et en VSAI afin de vérifier l'hypothèse selon laquelle l'épreuve en VST n'induisait pas de DE supplémentaire, par rapport à l'épreuve en VSAI.

Les critères secondairement jugés étaient, au cours du sevrage, les comparaisons des paramètres respiratoires et hémodynamiques ; et en post-extubation, la prédictibilité de l'échec d'extubation selon l'issue de chacune des épreuves de sevrage ou leur association.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude monocentrique a été réalisée dans l'unité de réanimation chirurgicale du CHU de Tours en prospectif, cross-over et après randomisation. Les patients éligibles étaient ventilés depuis plus de 24 heures sur un respirateur *Engström Carestation*™ muni du module M-COVX™ de calcul de dépense énergétique et du *Patient Spirometry*™ (*Datex-Ohmeda Inc. a General Electric Compagny*, Madison, États-Unis). Ce spiromètre représentait un espace mort instrumental mesuré de 11 ml. Le sevrage de la VM était standardisé, assuré par le relai de la ventilation contrôlée en ventilation spontanée en aide inspiratoire. Les réglages de la fraction inspirée d'oxygène (FiO_2), du niveau d'AI et de PEEP étaient adaptés à la situation clinique et/ou biologique. Ils étaient ensuite modifiés sur prescription médicale par décréments itératifs des FiO_2, AI et PEEP jusqu'à atteindre nos critères d'extubation, soit : $FiO_2 \leq 50$ %, AI ≤ 12 cmH_2O, PEEP ≤ 5 cmH_2O. Les recherches de l'absence d'œdème laryngé par un test de fuite (fuite inférieure à 110 ml ou 12 % du volume courant expiré) et d'un réflexe de déglutition ont été réalisées. La compensation de résistance des voies aériennes était arrêtée et le temps de montée inspiratoire réglé à 300 ms.

Outre les caractéristiques ventilatoires, les critères d'inclusion étaient : pathologie d'admission en réanimation contrôlée, état clinique stable sans amines vasoactives ni sédation, réponse correcte du patient aux ordres simples et absence d'encombrement bronchique majeur.

Les patients n'étaient pas inclus en cas d'antécédents d'échec d'extubation, de pathologie neuromusculaire connue ou acquise, de fistule trachéo-bronchique, de fièvre supérieure à 38 °C, d'agitation ou d'échec du test de fuite. Les patients inclus

réalisaient successivement les deux épreuves de sevrage dans un ordre défini par tirage au sort d'un document consignant la première épreuve à réaliser. La randomisation réalisée à l'avance était équilibrée entre les deux épreuves et l'ordre de passage. Chaque épreuve menée à son terme avait une durée exacte de 45 min. Une période de repos de 2 heures séparait les deux épreuves, les patients étaient alors ventilés en VSAI selon les paramètres antérieurs à la première épreuve. Une aspiration trachéale précédait chaque épreuve. Le déroulement de l'étude est illustré dans la figure 1.

Les paramètres de ventilation de l'épreuve VSAI étaient : AI = 7 cmH_2O, PEEP = 0 et FIO_2 non modifiée. Pour l'épreuve en VST, le respirateur était réglé en mode « monitorage seul », le raccord annelé était ôté afin de diminuer l'espace mort, les branches inspiratoires et expiratoires débranchées du patient. Le spiromètre était placé immédiatement après la sonde d'intubation et relié à une source d'oxygène. Le débit d'oxygène administré via une pièce en T 22M/15F Intersurgical™ par un humidificateur nébuliseur Intersurgical Ltd™ (Intersurgical Ltd, Berkshire, Royaume-Uni) était réglé pour administrer la FiO_2 pré-protocole. La photographie 1 représente le montage du circuit respiratoire en VST et la photographie 2 l'écran du respirateur en mode « monitorage seul » pendant l'épreuve en VST.

Pendant les épreuves, les patients étaient installés en position semi-assise et surveillés par une SpO_2, un brassard de pression non invasive (PNI) ou une pression artérielle (PA) invasive, la fréquence respiratoire (FR), un électrocardiogramme (ECG) avec monitorage 10 brins permettant le recueil et l'analyse du segment ST (alarme réglée pour des variations de 1 mV).

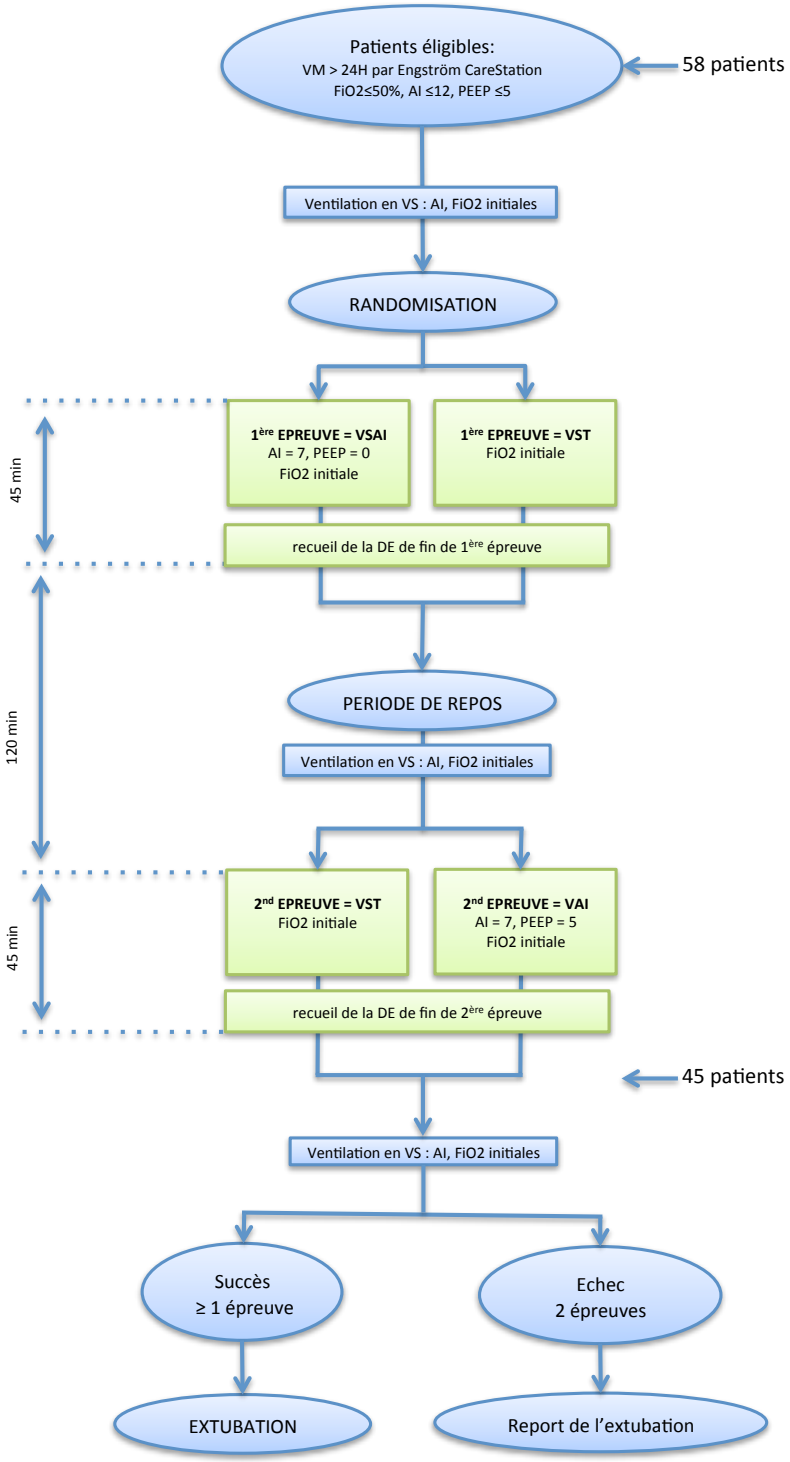

Figure 1. Schéma du protocole.

Photo 1. Montage du circuit respiratoire en VST.

Photo 2. Écran du respirateur en mode « monitorage seul » pendant l'épreuve en VST. En bas à droite de l'écran, s'affichent la DE de l'épreuve de sevrage et le quotient respiratoire (inscrits respectivement CE et QR).

Les critères d'arrêt des épreuves étaient : polypnée (FR ≥ 35/min), SpO_2 inférieure à 90 %, variation de la pression artérielle moyenne (PAM) et/ou de la fréquence cardiaque (FC) supérieure à 20 %, variation de plus de 2 mV du segment ST, apparition de sueurs, d'agitation, de troubles de la vigilance ou d'un encombrement bronchique nécessitant une aspiration trachéo-bronchique. À la fin de la seconde épreuve, les patients étaient ventilés en VSAI avec les réglages pré-protocole avant la décision ou non d'extubation. L'échec aux deux épreuves contre-indiquait l'extubation.

Le critère principal de jugement était la DE calculée par CI, intégrée au module M-COVX™ selon les mesures de la consommation d'oxygène (VO_2) et de la consommation en dioxyde de carbone (VCO_2) par l'équation de Weir selon l'hypothèse d'Haldane (17) (*voir* Annexe 1). La taille et le poids des patients étaient renseignés dans les paramètres du respirateur. Afin d'éviter toute pollution des résultats par les mesures antérieures de CI, une calibration du module M-COVX™ était réalisée avant et après chaque épreuve.

Avant le début des épreuves de sevrage, les données recueillies étaient le sexe, l'âge, le poids, la taille, le motif d'admission, l'IGS2, les antécédents de broncho-pneumopathie chronique obstructif (BPCO) et d'insuffisance cardiaque, et la durée de la VM. La pression d'occlusion des voies aériennes supérieures (P01) et la pression négative inspiratoire (NIF) ont été mesurées.

Avant de débuter les épreuves et à leur issue, étaient colligés, la PAM, la FC, la FR, la SpO_2 et le volume courant expiré (Vt). Les variations du segment ST dans 10 dérivations (D1, D2, D3, aVF, V1, V2, V3, V4, V5, V6) étaient analysées à l'issue de chacune des 2 épreuves de même que la DE et le succès ou non de l'épreuve. Étaient enfin colligés le succès ou non de l'extubation, la durée d'hospitalisation et la mortalité en sortie de réanimation.

STATISTIQUES

Les statistiques ont été réalisées par JMP® version 8.0.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, États-Unis). L'analyse principale a été réalisée en per-protocole, ne conservant que les patients ayant fait et réussi les deux épreuves. En considérant d'après l'article princeps (18) qu'une différence de DE de 20 % entre les deux épreuves était cliniquement pertinente, le nombre de sujets au minimum à inclure était de 19 avec une puissance 1 - β = 80 % et un risque consenti de première espèce α = 0,05.

Les variables continues ont été analysées par le test-t de Student (données appariées, normalité de distribution vérifiée). Pour les autres variables, des tests non paramétriques ont été utilisés (test de Wilcoxon). Pour les variables ordinales, les tests du Khi2 (tests exacts de Fisher si effectifs inférieurs à 5) ont été utilisés. Pour cette étude randomisée en cross-over, ont été recherchées : une interaction entre les effets ordre et traitement (hypothèse d'égalité des moyennes des groupes VSAI-VST et VST-VSAI, test-t, séries indépendantes, sous condition d'homogénéité des variances), une estimation de l'effet traitement (étude de l'intervalle de confiance et de l'écart type de la moyenne des différences DE en VSAI, DE en VST, test-t, séries appariées) et une estimation de l'effet ordre (comparaison des premières et secondes mesures sur l'ensemble des sujets, test-t pour séries appariées). Pour l'étude « avant-après », un test de symétrie de Bowker a été utilisé.

La prédictibilité de l'échec de l'extubation selon l'épreuve de sevrage réalisée ou leur association a été analysée par le calcul des sensibilité, spécificité, valeur prédictive positive, valeur prédictive négative, rapport de vraisemblance et risque relatif. Les courbes ROC des variations de la sensibilité et de la spécificité ont été construites. Une valeur de $p \leq 0,05$ a été retenue comme significative. Les résultats sont exprimés en moyenne ± DS.

RÉSULTATS

Cinquante-huit patients ont été inclus du 1er mai 2010 au 30 avril 2011, soit 12 % des patients admis dans l'unité sur cette période. Treize patients ont été exclus, 6 car aucune donnée de CI n'avait pu être recueillie et 7 car ils n'avaient réalisé qu'une seule des deux épreuves (dégradation respiratoire, problème technique, auto-extubation pendant la période de repos). L'effectif final analysé en per-protocole était donc de 45 patients.

Les caractéristiques hémodynamiques et ventilatoires des patients avant les épreuves sont résumées dans les tableaux 1 et 2. Il était noté une augmentation de la FR à 45 min par rapport à la FR antérieure aux épreuves (p = 0,002 *versus* VSAI, p = 0,006 *versus* VST) sans modification significative de la SpO_2, de la FC, de la PAM et du segment ST. 51 % des patients bénéficiaient de l'épreuve en VSAI en première position.

Tableau 1. Caractéristiques de la population étudiée.

Caractéristiques	Patients inclus (n = 45)
Âge, années	64 ± 14
Hommes : Femmes, n	34 : 11
Caractéristiques d'admission	
Chirurgie urgente, n	29
Chirurgie programmée, n	5
Pathologie médicale, n	11
IGS 2	46 ± 17
Antécédents	
BPCO, n	5
Insuffisance cardiaque, n	11
Poids, kg	75 ± 17
Taille, cm	170 ± 7
Durée de ventilation, jours	7 ± 6
Mortalité en réanimation, n	3

Tableau 2. Caractéristiques hémodynamiques et ventilatoires des patients inclus avant les épreuves.

Caractéristiques	Patients inclus (n = 45)
Vt, ml	512 ± 120
FR, /min	20 ± 5
NIF	
NIF, cmH_2O	-17 ± 7
| NIF | > 20 cmH_2O, n	23
| NIF | < 20 cm H_2O, n	21
non documentée, n	1
P01	
P01, cmH_2O	2 ± 2
P01 > 4 c H_2O, n	3
P01 < 4 cmH_2O, n	41
Non documentée, n	1
Pouls, /min	95 ± 17
SpO_2, %	98 ± 2
PAM, mmHg	89 ± 14

La DE de chaque épreuve de sevrage à 45 min n'était pas différente (p = 0,24) avec, pour la VSAI et la VST respectivement 2500 ± 1663 kcal/j (DE_{VSAI} = 34 ± 15 kcal/kg/j) ; et 2287 ± 808 kcal/j (DE_{VST} = 32 ± 11 kcal/kg/j).

La recherche d'une interaction entre un effet ordre et traitement et un effet ordre a mis en évidence que la DE en VSAI était plus faible que la DE en VST lorsque l'épreuve VSAI était réalisée en premier. Ces résultats sont illustrés dans les figures 2 et 3.

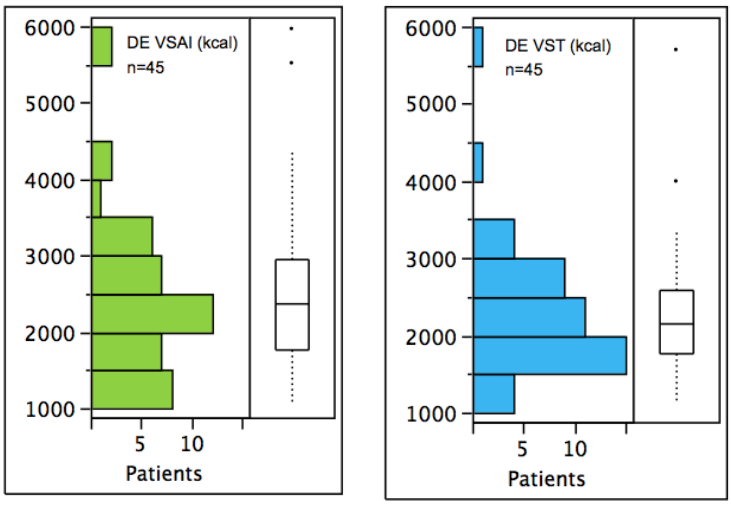

Figure 2. Distribution en fréquence de la DE (kcal/j) en VSAI à gauche, en VST à droite. Les boîtes à moustaches figurent la médiane, et les 1er et 3ème quartiles.

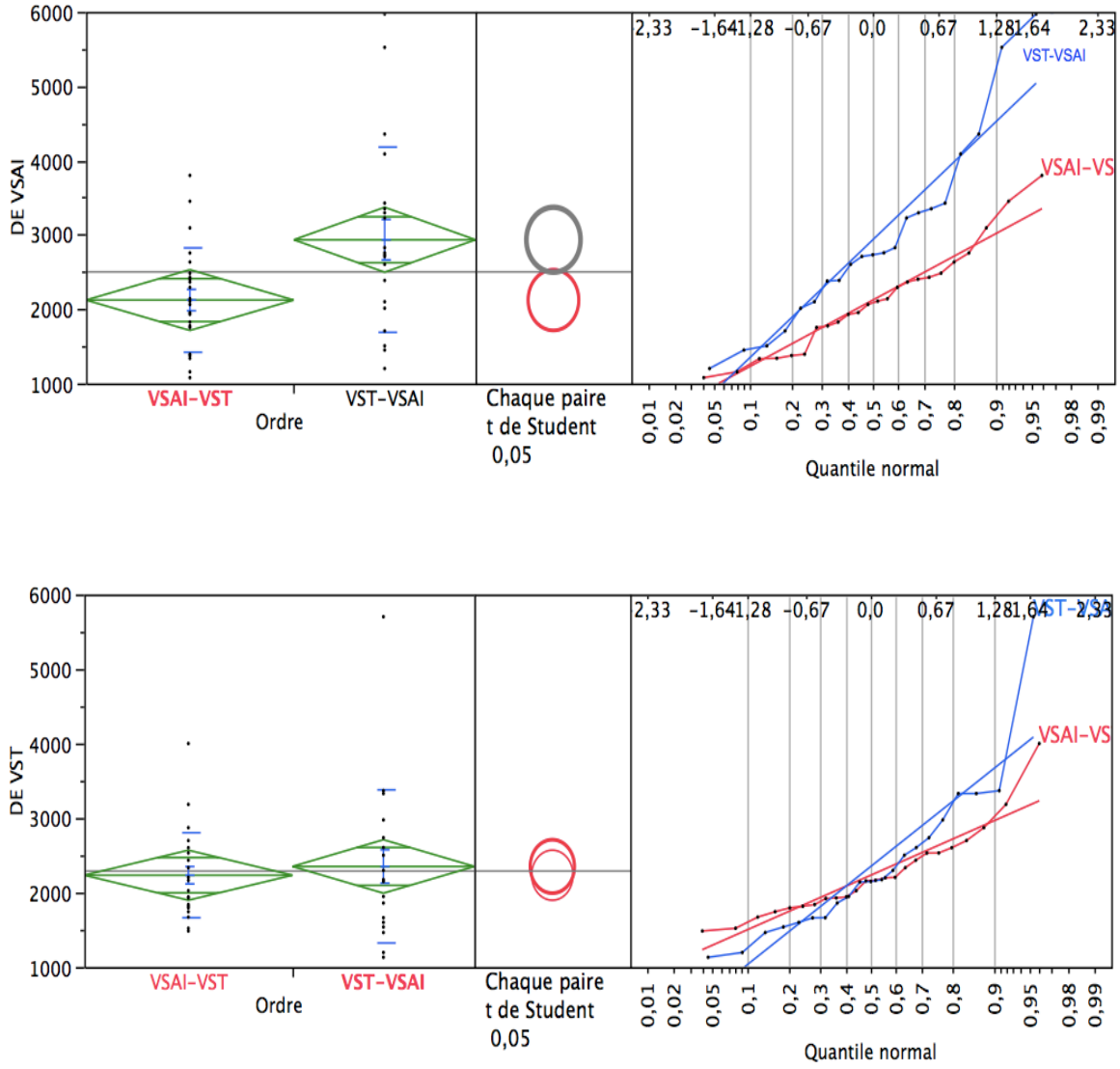

Figure 3. En haut, la figure illustre l'effet ordre observé avec une DE (kcal/j) en VSAI plus faible lorsque l'épreuve était réalisée en premier. En bas, la DE de l'épreuve en VST n'était pas influencée par l'ordre de sa réalisation. À gauche, les représentations diamant représentent en vert, les médianes et intervalles de confiance à 95 % pour Anova, test-t ; en bleu, la barre d'erreur à la moyenne et les écarts types ; la ligne grise représente la moyenne. À droite, autres représentations des DE observées avec les droites d'ajustement pour les deux séries VSAI-VST et VST-VSAI.

Les échecs aux épreuves et les échecs à l'extubation ont été analysés. Sur les 58 patients inclus, 11 patients ont échoué à l'extubation (19 % d'échec). Parmi eux, 1 patient avait réussi les deux épreuves, 1 patient avait échoué aux deux épreuves, 4 patients avaient échoué seulement à l'épreuve en VST et 5 patients n'avaient pas réalisé l'épreuve en VSAI après avoir échoué à la VST (impossibilité de les remettre

en condition de réalisation de l'épreuve en VSAI à l'issue de la période de repos).

La figure 4 illustre la distribution des échecs selon le type d'épreuve. La valeur diagnostique de l'échec de l'extubation par les deux méthodes de sevrage ou leur association est résumée dans le tableau 3 et la figure 5. L'aire sous la courbe pour l'épreuve en VSAI n'était pas différente par rapport à celle à 0,5 ; 0,76 ± 0,2 (p = 0,25). Pour l'épreuve en VST, elle était différente par rapport à celle à 0,5 ; 0,944 ± 0,04 comme pour l'association des deux épreuves de sevrage ; 0,945 ± 0,03 (p < 0,0001). Les antécédents de BPCO ou d'insuffisance cardiaque n'ont pas été retrouvés comme facteur favorisant l'échec de l'une ou l'autre des épreuves, ni même l'échec de l'extubation.

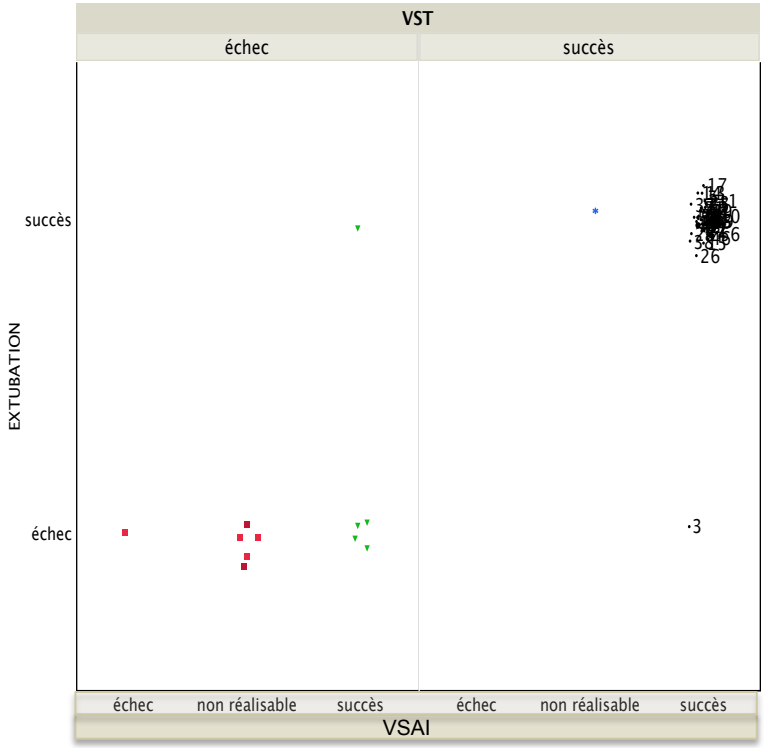

Figure 4. Distribution de la qualité de l'extubation en fonction des échecs et succès aux épreuves de sevrage.

Tableau 3. Valeur diagnostique des échecs aux épreuves de sevrage et de l'extubation. SS : sensibilité, SP : spécificité, VPP : valeur prédictive positive, VPN : valeur prédictive négative, RV +/- : rapport de vraisemblance positif/ négatif, RR : risque relatif.

Prédictibilité de…	SS %	SP %	VPP %	VPN %	RV +/-	RR
l'échec d'extubation par l'échec de la VSAI	54	98	86	90	25,6/0,46	8,7
l'échec d'extubation par l'échec de la VST	91	98	91	98	42,7/0,09	42,7
l'échec d'extubation par l'échec aux deux épreuves 3dll : succès, échec à 1 épreuve, échec aux 2	54	100	100	90	-/0,45	10,4

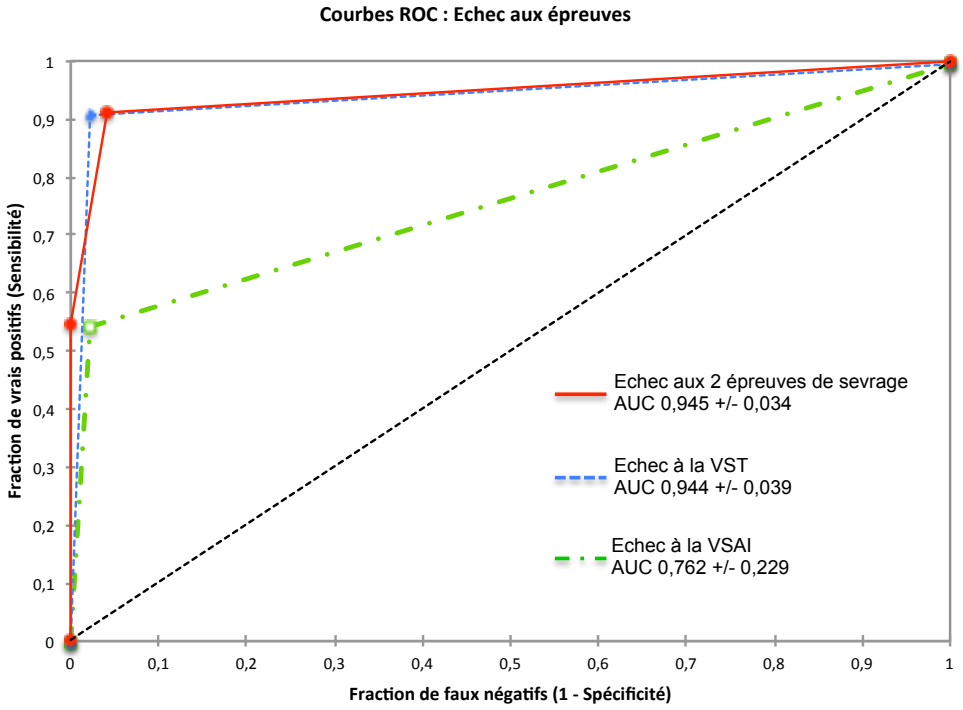

Figure 5. Courbes ROC des échecs aux épreuves de sevrage et de l'extubation pour les 58 patients inclus dans l'étude. AUC : aire sous la courbe.

DISCUSSION

L'objectif principal de l'étude était de comparer prospectivement et en cross-over la DE des épreuves de sevrage en VST et en VSAI. La DE enregistrée à l'issue des deux épreuves de sevrage n'était pas différente (p = 0,24). En condition de stabilité clinique, la DE à l'issue des 45 min était un reflet du travail cardio-respiratoire lié aux épreuves. L'hypothèse selon laquelle l'épreuve en VST n'engendre pas une DE disproportionnée par rapport à l'épreuve en VSAI était confirmée. Ces deux méthodes de sevrage se sont révélées sans danger et sécurisées. La réalisation de l'épreuve en VST sur respirateur branché en mode « monitorage seul » permet une surveillance du patient par les moniteurs centralisés. L'absence de modification significative des paramètres ventilatoires et hémodynamiques au terme des épreuves suggère que le travail cardio-respiratoire est du même ordre de grandeur en VSAI et VST. Cependant, la mise en évidence d'une meilleure prédiction de l'échec de l'extubation (19 %) par l'épreuve en VST (ROC, AUC 0,94) ou par l'association des deux épreuves (ROC, AUC 0,95), suggère que la VSAI et la VST ne sont pas équivalentes.

58 patients ont été inclus dans notre protocole, soit 12 % de l'effectif des patients admis dans l'unité sur la même période. Ce pourcentage s'explique par le respect des critères de non-inclusion, l'absence d'intubation de certains patients, l'évolution défavorable d'autres, mais surtout par la nécessaire disponibilité pour l'étude du respirateur *Engström Carestation*™ muni du module M-COVX™ (*Datex-Ohmeda Inc. a General Electric Compagny*, Madison, États-Unis*)* qui ne représente que 42 % du parc de respirateurs de notre unité. Ce module permet de calculer la DE par mesure de la VCO_2 et de la VO_2 par CI (19). La DE peut être estimée selon plusieurs méthodes. La calorimétrie directe mesure la chaleur dissipée par l'organisme et nécessite d'isoler le patient dans une enceinte étanche, ce qui est incompatible

avec une unité de réanimation. La méthode de Fick estime la DE selon le débit cardiaque, le taux d'hémoglobine et les saturations artérielle et veineuse en oxygène. Elle ne prend pas en compte l'oxygène dissous dans le sang et est dépendante de la qualité de la précision de la mesure du débit cardiaque. Elle sous-estime la DE et est invasive (20). La DE peut aussi être estimée par la mesure du débit d'oxydation des nutriments en utilisant des molécules marquées par un isotope du carbone stable ou radioactif. Cette méthode est irréalisable en réanimation. Par ailleurs, l'équation de Harris-Benedict permettant de calculer, chez des sujets sains, la DE en prenant en compte l'âge, le sexe, le poids et la taille n'est pas validée chez le patient de réanimation (21). Les équations multi-paramétriques proposées pour évaluer la DE chez le patient de réanimation, Harris-Benedict modifiée ou non, ne permettent pas une corrélation correcte à la DE estimée par CI (22). La CI est la seule méthode de mesure utilisable en pratique courante en réanimation.

La DE de repos des patients de réanimation est influencée par de nombreux déterminants intrinsèques et extrinsèques. Nous avons retenu 20 % de variations entre les deux épreuves. Ce choix est basé sur les travaux de mesures de variations de la DE par CI au cours des soins courants de réanimation (18). Les limites habituelles d'utilisation de la CI en réanimation étaient respectées. Il existe une grande variabilité interindividuelle de la DE, d'où la nécessité d'une étude où chaque patient est son propre témoin.

De nombreuses études ont comparé les épreuves en VSAI et VST. Les paramètres étudiés antérieurement sont le travail respiratoire en VST et à plusieurs niveaux d'AI, la durée du sevrage, l'évolution des paramètres cardiaques échographiques, le succès des épreuves de sevrage, le succès de l'extubation, la durée de séjour en réanimation et la durée d'hospitalisation. La littérature concernant la pénibilité des épreuves de

sevrage est difficile à interpréter car la méthodologie et le nombre de patients inclus sont variables et les populations étudiées très hétérogènes.

Les conférences de consensus de 2001 et 2007 autorisent la réalisation d'une épreuve en ventilation spontanée (VS), soit en VST soit en VSAI, arguant que les deux modalités ne semblent pas différentes en termes de pourcentage de patients tolérant la VS jusqu'au terme de l'épreuve ou jusqu'à 48 heures après extubation (4)(23). Le choix de la modalité de l'épreuve de VS est ainsi laissé aux praticiens en fonction des habitudes de l'unité.

Brochard *et al*. ont montré que le travail respiratoire en VST était en moyenne de 20 % supérieur à celui observé après extubation et que le niveau d'AI qui ramenait le travail respiratoire à sa valeur post-extubation était, selon les patients, entre 3 et 14 cmH_2O ; plus élevé dans une population de BPCO (14).

Ainsi la présence d'un tube endotrachéal, par la charge résistive additionnelle qu'il induit, serait un défi ventilatoire bien supérieur aux propriétés de résistance des voies aériennes supérieures (VAS) naturelles. Cette hypothèse n'a pas été confirmée par l'étude de Straus *et al*. (15). L'effort musculaire respiratoire de patients testés en VST et après l'extubation ne différait pas et ce, quel que soit le diamètre du tube endotrachéal. Ainsi, chez des patients « extubables » avec succès, le test en VST n'altère pas le travail respiratoire. À l'extubation, la résistance naturelle des VAS est accrue et leur perméabilité chez un patient intubé est plus difficile à apprécier, ce qui explique qu'un échec d'extubation ne soit pas facile à prédire (3)(7)(10)(24)(25)(26).

À ce stade, il est important de préciser que l'évaluation du risque de sevrage difficile repose sur des facteurs généraux et respiratoires et que les critères prédictifs d'un sevrage difficile sont distincts de ceux de l'échec de l'extubation (4)(23). Il faut différencier le sevrage de la VM, qui pour les patients de réanimation, peut se faire en

VSAI avec l'aide de protocoles plus ou moins asservis et l'épreuve ultime de sevrage que sont les tests de VS réalisés juste avant l'extubation. Les conditions de succès de l'extubation dépendent de la fonction musculaire, de la fonction pulmonaire et de la fonction « airway ». Les épreuves de sevrage de la VM permettent d'évaluer les deux premières fonctions.

Il n'est pas exceptionnel de voir des patients passer avec succès leur épreuve de sevrage en VSAI puis de développer immédiatement après l'extubation une insuffisance respiratoire aiguë avec, dans ces conditions, le risque d'intubation difficile, d'arrêt cardio-respiratoire et de lésions cérébrales hypoxiques. Individualiser les patients à risque de sevrage difficile est important car la ré-intubation est associée de manière indépendante à une augmentation de la mortalité. Ce point avait été précisé dans les conférences de consensus de 2001 et 2007 (4)(23). C'est aussi le thème d'un éditorial récent de Martin Tobin (27). Pour Tobin, le concept de ventilation « minimale » n'existe pas. À l'instauration d'une assistance ventilatoire, le travail respiratoire quels que soient les niveaux d'AI et de PEEP est diminué. Il fait valoir que l'ajout d'une PEEP minimale de 5 cmd'H_2O et/ou d'une AI minimale de 7 cmd'H_2O réduit la charge de travail respiratoire du patient de 40 % (11)(28). Ainsi le problème ne serait pas de proposer un test de sevrage et d'évaluation du risque d'échec de l'extubation applicable à la plupart des patients, car la majorité sera extubée sans difficulté. Le problème est d'identifier et de protéger la petite minorité de patients vulnérables qui risquent de décompenser brutalement après l'extubation avec des conséquences potentiellement catastrophiques.

Pourquoi ces patients passent avec succès l'épreuve de sevrage en VSAI et décompensent immédiatement après l'extubation ? Lors de la ventilation assistée, des asynchronies patient-ventilateur peuvent survenir. Ces efforts générés par le

patient et non détectés par le ventilateur sont source de « sur-assistance » ventilatoire (29). D'autres raisons pourraient être une sous-estimation et une non-évaluation de la résistance des VAS, une insuffisance respiratoire résiduelle masquée par l'AI même minimale ou l'augmentation de la charge cardiaque induite par la suppression brutale de la pression positive intra-thoracique lors de l'extubation.

Un très récent travail a démontré que chez des patients éligibles à une première épreuve de sevrage, le choix de l'épreuve de 30 min (VST et VSAI + ZEEP) ne semblait pas influer sur l'évolution des paramètres d'échocardiographie (ondes E, A, Ea) ou du peptide natriurétique (BNP) (30). Les auteurs expliquent ce résultat par leur faible taux d'échec de l'épreuve de sevrage. Ce résultat semble confirmer les propos de Tobin : ce qui s'applique à la grande majorité des patients ne permet pas d'identifier les patients les plus à risque.

Tobin plaide en faveur d'une « vraie » épreuve en VST pour identifier ces patients à risque élevé, encore faut-il la réaliser dans de bonnes conditions de sécurité.

La VST permet d'observer le patient juste après la déconnection du respirateur pendant que le patient respire spontanément sans aide extérieure. Pour confirmer la capacité du patient à respirer sans aide, une période d'observation supérieure à 30 min et inférieure à 120 min est nécessaire. La durée optimale de la période d'observation n'est pas connue. Dans une étude d'Esteban *et al*., le taux de ré-intubation était similaire entre un premier groupe de patients extubés après 30 min d'observation contre 120 min pour le second (10). Ces résultats ne sont pas retrouvés par toutes les équipes et au sein même des deux groupes d'Esteban *et al*., 50 % des patients échouaient en moyenne à 30 min ; le groupe 30 min échouait en moyenne à 15 min et le groupe 120 min en moyenne à 30 min (10). Nous avons choisi une durée de 45 min pour chaque épreuve.

Si la durée d'observation en VST doit être suffisamment longue pour identifier les patients à risque d'échec d'extubation, il est important de vérifier que le travail respiratoire réalisé durant cette épreuve n'entraîne pas une VO_2 trop importante ou à l'inverse que l'augmentation de la demande ne puisse être compensée. La mesure de la DE par CI s'inscrit dans cette démarche. La modification de la VO_2 induite par un sevrage progressif avait été observée dans un groupe de 28 patients dont la CI était mesurée lors d'un processus de décroissance de l'AI (31). Dans cette étude, les auteurs avaient observé que les patients échouant aux épreuves de sevrage avaient une VO_2 initiale supérieure à ceux qui le réussissaient et étaient incapables de répondre à une demande d'O_2 majorée par le sevrage. Le monitorage de la VO_2 globale, incluant la VO_2 respiratoire, est réalisée en condition stable par la mesure de la DE en CI. Il doit permettre, dans l'épreuve ultime du sevrage, d'identifier une modification de la VO_2 induite par la seule donnée du passage de la VSAI à la VST.

Ainsi la première étape serait de mesurer à la fin d'une épreuve de sevrage (VSAI et VST) suffisamment prolongée s'il existait une variation notable de la DE et de réaliser l'épreuve en VST dans de bonnes conditions de sécurité offertes par le mode monitorage seul du respirateur. La seconde serait de surveiller en continu, tout au long d'une épreuve de sevrage peut-être plus longue, la variation de la DE. Sans aller jusqu'à l'échec de l'épreuve de sevrage, l'idée est de repérer les patients incapables de répondre à une demande accrue en O_2.

Alors que l'inclusion des patients dans notre protocole avait débuté, une étude portant sur 40 patients a comparé la DE des épreuves en VSAI et VST, sevrages réalisés en cross-over sur une période de 30 min avec seulement 30 min de période de repos (32). Une augmentation de 14 % de la DE a été observée lors de l'épreuve VST. Notre protocole est sensiblement différent avec une période de test plus longue,

une période de repos plus longue et des niveaux d'AI en VSAI plus modestes (7 contre 10). Nos résultats diffèrent conformément à ce qui était attendu. La VSAI avec un niveau d'AI trop important ne représente pas un défi suffisant pour identifier les patients à risque. Entre nos deux études les niveaux de DE étaient d'ailleurs très différents DE_{VSAI} 1558 ± 304 contre 2500 ± 1663 kcal/j dans notre série et DE_{VST} 1782 ± 37 contre 2287 ± 808 kcal/j.

La recherche d'un effet ordre a montré que la DE en VSAI est plus faible lorsque l'épreuve en VSAI était réalisée en premier. La DE en VST n'était pas influencée par l'ordre de sa réalisation. Quand la première épreuve est réalisée en VSAI, les modifications des paramètres ventilatoires ne portent que sur de très faibles diminutions d'AI et de PEEP. Le patient ayant effectué son sevrage en VSAI, est déjà familiarisé à ce mode de sevrage et n'identifie pas de variation notable de sa situation respiratoire. La situation est donc bien différente et brutale si une extubation est tentée juste après ce seul test. La DE de l'épreuve en VST n'était pas modifiée, qu'elle soit réalisée en première ou en deuxième position, ce qui exclut une possible fatigabilité liée à une période de repos trop courte. La durée arbitrairement définie de 2 heures est donc suffisante.

L'échec de l'épreuve de VS était significativement plus important en VST qu'en VSAI. Six patients avaient échoué à l'épreuve en VST réalisée en premier, et avaient mal toléré la reprise de la VM en VSAI selon les paramètres antérieurs à l'épreuve de sevrage. Ils avaient été reventilés avec une AI supérieure ou égale à 12 et une PEEP supérieure à 5 et avaient repris un cycle de sevrage de VM selon nos protocoles.

Le taux d'échec d'extubation était égal à 19 % dans notre étude. Les antécédents de BPCO ou d'insuffisance cardiaque n'ont pas été retrouvés comme facteurs favorisant l'échec de l'une ou l'autre des épreuves, ni même l'échec de l'extubation.

Les NIF et P01 ont été mesurées. Une valeur de NIF supérieure à -20 cmH_20 a été décrite comme un facteur prédictif indépendant de réussite du sevrage ventilatoire (1). Notre population était partagée sur ce paramètre puisque seuls 50 % de nos patients atteignaient les objectifs de NIF compatibles avec un succès présumé de l'extubation. La P01 doit être comprise entre 2 et 4 cmH_20 avant une extubation ; supérieure, elle signerait un effort inspiratoire important difficilement maintenu de façon prolongée après l'extubation. Seuls 4 de nos patients présentaient ce risque.

Notre taux d'échec d'extubation a été relativement important, bien que comparable aux données de la littérature (4)(7). Les échecs aux épreuves de sevrage ont identifié tous ces patients à l'exception d'un patient ayant réussi les deux épreuves et ayant dû être reventilé après l'extubation. L'épreuve en VSAI a été la moins performante pour identifier les patients à risque d'échec d'extubation alors que l'épreuve en VST offre la meilleure sensibilité. L'association des deux épreuves offre les meilleures spécificité et valeur prédictive positive de l'échec d'extubation. Les aires sous la courbe de la VST et de l'association des deux épreuves sont quasi-identiques.

Notre étude comporte plusieurs limites. Outre le nombre de patients inclus, il aurait été pertinent de mesurer la VO_2 en ventilation contrôlée en état stable. Comparée à la VO_2 calculée lors des épreuves de sevrage et à condition que la situation clinique soit stable et identique dans les deux cas, nous aurions pu isoler la VO_2 des muscles respiratoires. Pour certains patients, la phase de ventilation contrôlée était trop distante de la phase des tests de sevrage et les conditions d'équivalence de la situation clinique non réunies. Une surveillance continue de la DE tout au long de l'épreuve de sevrage et non sa mesure au terme de l'épreuve nous aurait peut-être permis d'identifier les patients à risque d'échec de l'épreuve de sevrage. Le *Patient Spirometry*™ (*Datex-Ohmeda Inc. a General Electric Compagny*, Madison, États-

Unis) permettait de recueillir les VCO_2 et VO_2, donc les DE. Son volume augmentait de 11 ml l'espace mort et donc l'effort respiratoire du patient. Une réduction d'un même volume de sonde d'intubation pour corriger cet ajout était impossible (proximité du canal de gonflage du ballonnet).

Une récente méta-analyse a conclu à l'utilité de protocoles de sevrage écrits ou assistés par les respirateurs pour diminuer la durée de sevrage et d'hospitalisation (33). À l'issue de ce travail, plutôt que d'opposer ces deux épreuves, nous proposons de les associer dans un protocole de sevrage de la VM débutant par la VSAI, dont l'AI, la PEEP et la FiO_2 sont diminuées progressivement. Quand les prérequis à l'épreuve de sevrage sont réunis, nous proposons de réaliser une épreuve en VSAI (AI = 7, ZEEP) pendant 45 min, puis de reprendre la ventilation en VSAI avec les paramètres antérieurs à l'épreuve pendant au moins 2 heures. Ensuite, le patient réalise une épreuve en VST d'au moins 45 min et en cas de succès aux deux épreuves, le patient est extubé. L'épreuve en VSAI est une épreuve de sevrabilité du plus grand nombre de patients en réanimation, et l'association à l'épreuve en VST, par sa valeur diagnostique complémentaire, permettrait une meilleure prédictibilité de l'échec de l'extubation notamment des patients à risque.

CONCLUSION

De nombreuses études ont comparé les épreuves en VSAI et VST pour le sevrage ventilatoire. Cette étude est originale car elle aborde le choix de la technique du test ultime du sevrage ventilatoire selon un angle métabolique, celui de la DE.

L'épreuve en VST n'exige pas une DE significativement plus importante et ne peut être jugée responsable de la prolongation de la VM lors de son échec. L'existence d'une DE en VSAI plus faible lorsque l'épreuve VSAI était réalisée en premier et des échecs d'extubation quasi superposables aux échecs à l'épreuve en VST sont en faveur d'une non-équivalence des deux épreuves. La prédictibilité de l'échec d'extubation est meilleure par l'effet additif des deux épreuves de sevrage, par sa valeur diagnostique complémentaire. Si l'objectif n'est pas uniquement de proposer un test de sevrage et d'évaluation du risque d'échec de l'extubation applicable au plus grand nombre, mais également d'identifier et de protéger la petite minorité de patients vulnérables qui risquent de décompenser brutalement après l'extubation avec des conséquences potentiellement catastrophiques ; notre étude, dont les résultats restent à confirmer par d'autres travaux, propose une nouvelle méthode diagnostique de sevrabilité par l'association d'une épreuve en VSAI de 45 min (AI + 7 cmH_2O, ZEEP) suivie d'une épreuve en pièce en T de même durée.

BIBLIOGRAPHIE

1. 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. 19 déc 1996 ; 335(25): 1864-1869.
2. Esteban A, Anzueto A, Frutos F, Alía I, Brochard L, Stewart TE, et al. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. JAMA. 16 janv 2002 ; 287(3): 345-355.
3. Epstein SK. Decision to extubate. Intensive Care Med. mai 2002 ; 28(5): 535-546.
4. Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. Eur. Respir. J. mai 2007 ; 29(5): 1033-1056.
5. 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. déc 1998 ; 158(6): 1855-1862.
6. Torres A, Gatell JM, Aznar E, el-Ebiary M, Puig de la Bellacasa J, González J, et al. Re-intubation increases the risk of nosocomial pneumonia in patients needing mechanical ventilation. Am. J. Respir. Crit. Care Med. juill 1995 ; 152(1): 137-141.
7. Epstein SK. Preventing postextubation respiratory failure. Crit. Care Med. mai 2006 ; 34(5): 1547-1548.
8. Brochard L, Rauss A, Benito S, Conti G, Mancebo J, Rekik N, et al. Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. Am. J. Respir. Crit. Care Med. oct 1994 ; 150(4): 896-903.
9. Farias JA, Retta A, Alía I, Olazarri F, Esteban A, Golubicki A, et al. A comparison of two methods to perform a breathing trial before extubation in pediatric intensive care patients. Intensive Care Med. oct 2001 ; 27(10): 1649-1654.
10. Esteban A, Alía I, Tobin MJ, Gil A, Gordo F, Vallverdú I, et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. Am. J. Respir. Crit. Care Med. févr 1999 ; 159(2): 512-518.
11. Jubran A, Van de Graaff WB, Tobin MJ. Variability of patient-ventilator interaction with pressure support ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Am. J. Respir. Crit. Care Med. juill 1995 ; 152(1): 129-136.
12. Kollef MH, Shapiro SD, Silver P, St John RE, Prentice D, Sauer S, et al. A randomized, controlled trial of protocol-directed versus physician-directed weaning from mechanical ventilation. Crit. Care Med. avr 1997 ; 25(4): 567-574.
13. Haberthür C, Mols G, Elsasser S, Bingisser R, Stocker R, Guttmann J. Extubation after breathing trials with automatic tube compensation, T-tube, or pressure support ventilation. Acta Anaesthesiol Scand. sept 2002 ; 46(8): 973-979.
14. Brochard L, Rua F, Lorino H, Lemaire F, Harf A. Inspiratory pressure support compensates for the additional work of breathing caused by the endotracheal tube. Anesthesiology. nov 1991 ; 75(5): 739-745.
15. Straus C, Louis B, Isabey D, Lemaire F, Harf A, Brochard L. Contribution of the endotracheal tube and the upper airway to breathing workload. Am. J. Respir. Crit. Care Med. janv 1998 ; 157(1): 23-30.
16. Mehta S, Nelson DL, Klinger JR, Buczko GB, Levy MM. Prediction of post-extubation work of breathing. Crit. Care Med. mai 2000 ; 28(5): 1341-1346.
17. Bursztein S, Saphar P, Singer P, Elwyn DH. A mathematical analysis of indirect calorimetry measurements in acutely ill patients. Am J Clin Nutr. 8 janv 1989 ; 50(2): 227-230.
18. Weissman C, Kemper M, Damask MC, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. Effect of routine intensive care interactions on metabolic rate. Chest. déc 1984 ; 86(6): 815-818.

19. McLellan S, Walsh T, Burdess A, Lee A. Comparison between the Datex-Ohmeda M-COVX metabolic monitor and the Deltatrac II in mechanically ventilated patients. Intensive Care Med. juill 2002 ; 28(7): 870-876.
20. Brandi LS, Grana M, Mazzanti T, Giunta F, Natali A, Ferrannini E. Energy expenditure and gas exchange measurements in postoperative patients: thermodilution versus indirect calorimetry. Crit. Care Med. sept 1992 ; 20(9): 1273-1283.
21. Savard J-F, Faisy C, Lerolle N, Guerot E, Diehl J-L, Fagon J-Y. Validation of a predictive method for an accurate assessment of resting energy expenditure in medical mechanically ventilated patients. Crit. Care Med. avr 2008 ; 36(4): 1175-1183.
22. Frankenfield D, Hise M, Malone A, Russell M, Gradwell E, Compher C. Prediction of resting metabolic rate in critically ill adult patients: results of a systematic review of the evidence. J Am Diet Assoc. sept 2007 ; 107(9): 1552-1561.
23. XXIème conférence de consensus en réanimation et médecine d'urgence sur le Sevrage de la ventilation mécanique à l'exclusion du nouveau-né et du réveil d'anesthésie. Réanimation 2001 ; 10 : 697-8.
24. Epstein SK, Nevins ML, Chung J. Effect of unplanned extubation on outcome of mechanical ventilation. Am. J. Respir. Crit. Care Med. juin 2000 ; 161(6): 1912-1916.
25. Carlucci A, Richard JC, Wysocki M, Lepage E, Brochard L. Noninvasive versus conventional mechanical ventilation. An epidemiologic survey. Am. J. Respir. Crit. Care Med. mars 2001 ; 163(4): 874-880.
26. Ely EW, Shintani A, Truman B, Speroff T, Gordon SM, Harrell FE Jr, et al. Delirium as a predictor of mortality in mechanically ventilated patients in the intensive care unit. JAMA. 14 avr 2004 ; 291(14): 1753-1762.
27. Tobin MJ. Extubation and the myth of « minimal ventilator settings ». Am. J. Respir. Crit. Care Med. 15 févr 2012 ; 185(4): 349-350.
28. Sassoon CS, Light RW, Lodia R, Sieck GC, Mahutte CK. Pressure-time product during continuous positive airway pressure, pressure support ventilation, and T-piece during weaning from mechanical ventilation. Am. Rev. Respir. Dis. mars 1991 ; 143(3): 469-475.
29. Thille AW, Rodriguez P, Cabello B, Lellouche F, Brochard L. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. Intensive Care Med. oct 2006 ; 32(10): 1515-1522.
30. Perbet S., Soummer A., Pereira B., Cayot-Constantin S., Jabaudon M., Lu Q., Rouby J.-J., Constantin J._M. Comparaison de 2 méthodes d'épreuve de sevrage de la ventilation mécanique (pièce en T et VSAI ZEEP) lors d'un 1er test de sevrage. 41ème Congrès de la SRLF, 2013, Paris.
31. Bellani G, Foti G, Spagnolli E, Milan M, Zanella A, Greco M, et al. Increase of oxygen consumption during a progressive decrease of ventilatory support is lower in patients failing the trial in comparison with those who succeed. Anesthesiology. août 2010 ; 113(2): 378-385.
32. Dos Santos LJ, Hoff FC, Condessa RL, Kaufmann ML, Vieira SRR. Energy expenditure during weaning from mechanical ventilation: is there any difference between pressure support and T-tube? J Crit Care. févr 2011 ; 26(1): 34-41.
33. Blackwood B, Alderdice F, Burns K, Cardwell C, Lavery G, O'Halloran P. Use of weaning protocols for reducing duration of mechanical ventilation in critically ill adult patients: Cochrane systematic review and meta-analysis. BMJ. 2011; 342: c7237.

LISTE DES ABRÉVIATIONS LES PLUS UTILISÉES

AI = Aide inspiratoire
AUC = Aire sous la courbe
BNP = Peptide natriurétique
BPCO = Broncho-pneumopathie chronique obstructive
CHU = Centre hospitalier universitaire
CI = Calorimétrie indirecte
DE = Dépense énergétique
ECG = Électrocardiogramme
EE = Energy expenditure
FiO_2 = Fraction inspirée en oxygène
FR = Fréquence respiratoire
NIF = *Negative inspiratory force*
PA = Pression artérielle
PAM = Pression artérielle moyenne
PEEP = Pression télé-expiratoire positive
PNI = Pression non invasive
P01 = Pression d'occlusion des voies aériennes
PSV = Pressure support ventilation
QR = Quotient respiratoire
RR = Risque relatif
RV = Rapport de vraisemblance
SP = Spécificité
SpO_2 = Saturation artérielle en oxygène
SS = Sensibilité
VAS = Voies aériennes supérieures
VCO_2 = Consommation en dioxyde de carbone
VM = Ventilation mécanique
VO_2 = Consommation en dioxygène
VPN = Valeur prédictive négative
VPP = Valeur prédictive positive
VS = Ventilation spontanée
VSAI = Ventilation spontanée en aide inspiratoire
VST = Ventilation spontanée en pièce en T
Vt = Volume courant expiré
ZEEP = PEEP égale à 0

ANNEXE 1

Calorimétrie indirecte

Principe

La calorimétrie indirecte mesure le taux d'oxydation des glucides, lipides et des protides à partir de la VO_2, VCO_2, et de l'excrétion urinaire d'azote. On en déduit, comme il existe un couplage entre l'oxydation des nutriments et la synthèse d'ATP, l'énergie libérée lors de l'hydrolyse de l'ATP. Chez un individu au repos et dans les conditions de neutralité thermique, la DE mesurée par calorimétrie indirecte correspond à la DE totale de l'organisme à un moment donné.

Équations fondamentales

Quand seule la consommation d'oxygène d'un individu est mesurée, la DE au repos (ou production de chaleur) peut être calculée : DE (kcal/min) = VO_2 × 4,85 (L/min).

La constante 4,85 (kcal/L O_2) représente l'énergie moyenne délivrée lorsqu'un litre d'oxygène est consumé. Cette équation permet de relier DE et consommation d'oxygène.

Mesure de VO_2 et VCO_2

Les équations de Haldane lient la consommation d'oxygène au débit de gaz expirés et aux fractions inspirées et expirées d'O_2 et de CO_2 :

$VO_2 = Vi \times FiO_2 - Ve \times FeO_2$ et $VCO_2 = Ve \times FeCO_2$

(Vi/e : débit inspiratoire/expiratoire de gaz ; Fi/e : concentration fractionnelle de gaz inspiré/expiré.)

L'hypothèse de Haldane admet que le débit d'azote gazeux entrant dans l'organisme est égal à celui qui en sort.

On peut alors conclure : $VO_2 = Ve \times ([1 - FeO_2] \times FiO_2 - FeCO_2 / [1 - FiCO_2])$.

Pour connaître les valeurs de VO_2 et VCO_2, il faut donc mesurer le débit expiratoire Ve et les trois concentrations fractionnelles FiO_2, FeO_2, $FeCO_2$.

En admettant que la participation des protéines à la DE du sujet sain est de l'ordre de 12 %, il est possible de calculer la DE avec l'équation de De Weir, en mesurant uniquement VO_2 et VCO_2 à partir de l'hypothèse de Haldane :

$DE(kcal) = 3,9\ VO_2\ (L) + 1,1\ VCO_2\ (L)$ (17).