



HAL
open science

Intérêt du renforcement des muscles inspireurs sur le sevrage de la ventilation mécanique chez les patients intubés-ventilés en réanimation

Margot Maniaci

► **To cite this version:**

Margot Maniaci. Intérêt du renforcement des muscles inspireurs sur le sevrage de la ventilation mécanique chez les patients intubés-ventilés en réanimation. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03975682

HAL Id: dumas-03975682

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03975682v1>

Submitted on 6 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

**INTERÊT DU RENFORCEMENT DES MUSCLES
INSPIRATEURS DANS LA DURÉE DE
SEVRAGE DE LA VENTILATION MÉCANIQUE
CHEZ LES PATIENTS INTUBÉS – VENTILÉS
EN RÉANIMATION**

MANIACI Margot

Directeur de mémoire : M. MAFFEI

Remerciements

J'adresse mes plus sincères remerciements à...

Pierre Maffei, mon directeur de mémoire, pour sa disponibilité au cours de cette année, il a su m'orienter, me rassurer, et m'apporter tous les éléments nécessaires pour l'élaboration de ce mémoire avec bienveillance.

Ulysse Kerdreux, mon tuteur durant mes deux années d'apprentissage. Ton humanité m'a beaucoup apporté, merci de m'avoir transmis toutes ces valeurs qui sont si importantes à notre métier. J'ai énormément appris à tes côtés, à tous les niveaux, et je serai fière de devenir ta collègue de travail.

Lara Castan-Romero, qui m'a également formée en réanimation, pour son écoute et ses précieux conseils.

Christophe Samson qui m'a accueillie lors du dernier stage de mon cursus, pour ta confiance dès le début et ce, tout au long de mon clinicat. Merci d'avoir contribué à mon enseignement et à l'évolution de ma pratique, merci pour ton accueil, ta gentillesse et ta bienveillance.

Ma famille,

Mes parents, Isabelle et Fabrice, pour leur soutien infaillible depuis le début et leurs encouragements constants. Merci d'avoir toujours cru en moi.

Mes sœurs Bianca et Camille, mon beau-père Pascal ainsi que Jean-Charles – j'ai adoré partager ton quotidien de MKDE en tant que stagiaire lors de ma troisième année d'études – et Axelle pour leur présence, leur soutien et leur bonne humeur sans pareille.

Mes amis,

Julie, avec nos passions communes pour la réanimation et les potins.

Savannah, sans qui mes années d'étude auraient été beaucoup moins joyeuses.

Aurélien, sur qui je sais que je pourrai toujours compter.

Lucie, la personne qui partage ma vie et me soutient indéniablement depuis le début de cette aventure. Merci d'avoir investi ton précieux temps de futur médecin pour la relecture et la mise en page de ce mémoire.

Liste des abréviations

APRV : Airway Pressure Release Ventilation
BiPAP : Biphasic Positive Airway Pressure
BMR : Bactérie Multi-Résistante
BPCO : Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive
DDIVM : Dysfonction Diaphragmatique Induite par la Ventilation Mécanique
FiO₂ : Fraction Inspirée en Oxygène
IMC : Indice de Masse Corporelle
GCS : Glasgow Coma Scale
MCID : Minimal Clinically Important Difference
MKREA : Masseur-Kinésithérapeute de Réanimation
NMAR : NeuroMyopathie Acquise en Réanimation
NW : No Weaning
PaO₂ : Pression Artérielle Partielle en Oxygène
PAS : Pression Artérielle Systolique
PAM : Pression Artérielle Moyenne
PAVM : Pneumopathies Acquises sous Ventilation Mécanique
PEP : Pression Expiratoire Positive
PiMax : Pression Inspiratoire Maximale
Q : Perfusion Pulmonaire
RASS (Score) : Richmond Agitation Sedation Scale
RSBI : Rapid Shallow Breathing Index
SaO₂ : Saturation Artérielle en Oxygène
SCOM : Sterno-Cléïdo-Occipito-Mastoïdien
SKR : Société de Kinésithérapie de Réanimation
SDRA : Syndrome de Détresse Respiratoire Aigue
SFAR : Société Française d'Anesthésie-Réanimation
VA : Ventilation Alvéolaire
VAC : Ventilation Assistée Contrôlée
VM : Ventilation Mécanique
VNI : Ventilation Non Invasive
VS : Ventilation Spontanée
VS-AI : Ventilation Spontanée avec Aide Inspiratoire
Vt : Volume Courant
VVC : Ventilation à Volume Contrôlé
VPC : Ventilation à Pression Contrôlée

Table des matières

1	Introduction.....	1
1.1	Généralités concernant la réanimation	1
1.1.1	Réanimation.....	1
1.1.2	Intubation	1
1.1.3	Ventilation mécanique invasive.....	3
1.1.4	Les différents modes ventilatoires.....	4
1.1.4.1	Ventilation en mode contrôlé.....	4
1.1.4.2	Ventilation assistée	5
1.1.5	Complications	6
1.1.6	Sevrage de la ventilation mécanique.....	7
1.2	Physiopathologie	8
1.2.1	Diaphragme	8
1.2.2	Dysfonction diaphragmatique induite par la ventilation mécanique	10
1.2.3	Muscles inspireurs accessoires.....	11
1.3	Kinésithérapie en réanimation	12
1.3.1	Une profession indispensable en service de réanimation	12
1.3.2	Évaluation de la force des muscles inspireurs.....	14
1.3.3	Entraînement des muscles inspireurs en réanimation	15
1.3.3.1	L'ajustement de la sensibilité du trigger inspiratoire	15
1.3.3.2	L'utilisation d'une valve à seuil (Threshold IMT®)	15
1.3.4	Modalités de renforcement.....	16
1.4	Intérêts et objectifs de cette revue de littérature.....	18
1.5	Hypothèses théoriques.....	19
2	Méthode.....	19
2.1	Critères d'éligibilité des études.....	19
2.1.1	Types d'études.....	19
2.1.2	Dates de publication	20
2.1.3	Type de population.....	20
2.1.4	Type d'intervention, comparateur.....	20
2.1.5	Critères de jugement	20
2.2	Méthodologie de la recherche.....	20
2.2.1	Bases de données	20
2.2.2	Équation de recherche.....	21
2.2.3	Critères d'inclusion et d'exclusion	21
2.2.4	Sélection des études.....	21
2.2.5	Évaluation de la qualité méthodologie des études sélectionnées.....	22
2.2.6	Méthode de synthèse des résultats.....	22
2.3	Conflits d'intérêts et financement	22
3	Résultats.....	23
3.1	Sélection des études.....	23
3.1.1	Diagramme de flux.....	23
3.1.2	Études exclues	24

3.2	Études incluses.....	24
3.2.1	Martin et al. (2011).....	25
3.2.2	Condessa et al. (2013).....	26
3.2.3	Sandoval et al. (2019).....	27
3.2.4	Bisset et al. (2021).....	28
3.2.5	Critères d'inclusion et d'exclusion.....	29
3.2.6	Intervention et comparateur.....	30
3.3	Risques de biais des études incluses.....	30
3.4	Effets de l'intervention sur les critères de jugement.....	31
3.4.1	Effet du renforcement des muscles inspireurs sur la durée de sevrage de la ventilation mécanique.....	32
3.4.2	Effet du renforcement des muscles inspireurs sur l'évolution de la PiMax.....	33
4	Discussion.....	34
4.1	Analyse des principaux résultats.....	34
4.1.1	Analyse de la population.....	34
4.1.2	Analyse des interventions.....	36
4.1.3	Analyse des outils de mesure et des critères de jugement.....	36
4.1.3.1	La durée de sevrage de la ventilation mécanique.....	36
4.1.3.2	L'évolution de la PiMax.....	37
4.1.4	Analyse des résultats.....	37
4.1.4.1	Critère de jugement principal : la durée de sevrage de la ventilation mécanique.....	38
4.1.4.2	Critère de jugement secondaire : l'évolution de la pression inspiratoire maximale.....	39
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique.....	40
4.2.1	Le coût (pour le thérapeute et le patient).....	40
4.2.2	L'applicabilité.....	40
4.2.3	Balance bénéfiques / risques, effets secondaires ou indésirables.....	41
4.2.4	La population.....	41
4.2.5	Contraintes potentielles.....	41
4.3	Qualité des preuves.....	41
4.3.1	Risques de biais.....	42
4.3.2	Hétérogénéités.....	42
4.3.3	Niveau de preuves.....	43
4.3.4	Grade des recommandations de la revue.....	43
4.3.5	Présentation des biais potentiels de cette revue.....	44
5	Conclusion.....	45
5.1	Implication pour la pratique clinique.....	45
5.2	Implication pour la recherche.....	45
6	Bibliographie.....	46
7	Annexes.....	51

1 Introduction

1.1 Généralités concernant la réanimation

La durée moyenne d'un séjour en réanimation dans les unités françaises (tous types de réanimation confondus) était de 7,2 jours en 2013. De nos jours, 10% des admissions seront concernées par un séjour prolongé, d'une durée supérieure à 14 jours. [1]

Il existe une corrélation étroite entre la durée de séjour et la ventilation mécanique prolongée. Ainsi, le sevrage de cette ventilation est considéré comme une étape primordiale dans la prise en charge des patients concernés.

1.1.1 Réanimation

« La réanimation est un service spécialisé où sont hospitalisés les patients les plus graves.

Ils y bénéficient d'une surveillance constante des fonctions vitales comme la ventilation, l'oxygénation, la pression artérielle, les fonctions cardiaques et rénales.

Si besoin, une assistance de ces fonctions vitales peut être mise en place afin de permettre, si possible, la survie du patient. » - Société Française d'Anesthésie et Réanimation (SFAR). [2]

Le service de réanimation est un lieu où sont réalisés des soins spécifiques permettant la prise en charge de pathologies et décompensations aiguës. Ces soins visent à prévenir la survenue de défaillances multi-viscérales chez des patients fragiles et permettent, si elles surviennent, de les prendre en charge efficacement.

Les médecins et soignants ont démontré l'utilité d'une présence permanente (24 heures sur 24, 7 jours sur 7) d'une équipe hautement spécialisée pour ces patients atteints d'affections graves. [3]

Depuis une vingtaine d'années, les techniques se sont spécifiées. Les études sur ce secteur se font de plus en plus nombreuses et concernent notamment le rôle du kinésithérapeute dans la prise en charge de ces malades.

La réanimation est une discipline très diversifiée. C'est un secteur fermé, très technique avec des normes bien précises.

1.1.2 Intubation

L'intubation trachéale est décrite comme une sonde qui est placée dans la trachée à travers la glotte. L'extrémité supérieure du tube émerge par la bouche (ou par une narine dans l'intubation naso-trachéale) et permet de relier les voies respiratoires du patient à un respirateur artificiel.

C'est un geste souvent indispensable dans la spécialité d'anesthésie-réanimation d'urgence, pour des patients instables au niveau ventilatoire et hémodynamique.

L'intubation maintient l'étanchéité des voies aériennes supérieures, en les protégeant entre autres de l'inhalation des sécrétions digestives. Elle permet une ventilation contrôlée sur une trachée étanche. Elle facilite l'aspiration des sécrétions trachéo-bronchiques ce qui permet de maîtriser au mieux l'encombrement des voies aériennes.

Les indications de l'intubation trachéale sont [4] [5]:

- troubles sévères de la conscience (score de Glasgow < 8) (**cf. Annexe 1**) [5] ;
- tachypnée (fréquence respiratoire supérieure à 35 cycles par minute) ;
- tirage inspiratoire et ventilation paradoxale abdominale ;
- hypopnée ;
- état de choc, insuffisance respiratoire aiguë ;
- apnée, troubles du rythme ventilatoire ;
- troubles du rythme cardiaque ;
- etc.

C'est un geste courant, en règle rapide et facile, même si les facteurs prédictifs d'une **intubation difficile** sont à rechercher (peu adaptés au contexte d'une urgence mais ils sont systématiquement recherchés dans un contexte de chirurgie) :

- l'âge supérieur à 55 ans ;
- une classe de Mallampati ou un grade de Cormack > 2 (ces scores objectivent l'ouverture de la cavité buccale, **cf. Annexe 2**) [6] ;
- l'indice de masse corporelle (IMC) supérieur à 26 kg.m⁻² ;
- l'absence de dents ;
- autres : pathologie ORL et traumatisme cervical à rechercher.

Il existe deux types d'interfaces :

- Le tube oro-trachéal ;
- Le tube naso-trachéal, c'est un geste plus rare avec moins d'indications.

Un patient intubé nécessite une surveillance particulièrement accrue.

La mise en place d'une sonde d'intubation induit un dessèchement du mucus et une rétention des sécrétions bronchiques par un manque d'humidification, de réchauffement et par arrêt de l'activité ciliaire. [4]

Le matériel étranger expose les patients à une majoration du risque de sepsis.

De plus, contrairement aux circonstances du bloc opératoire où ce geste peut être réalisé dans des conditions programmées, l'urgence et l'instabilité hémodynamique du patient placent l'intubation trachéale comme un geste à haut risque (infectieux, intubation œsophagienne...).

Quant à la trachéotomie (incision trachéale permettant le passage de l'air), elle est envisagée lorsqu'une intubation à long terme est prévue, où après deux échecs d'extubation.

1.1.3 Ventilation mécanique invasive

Une étude prospective réalisée en 2006 a fait le point sur 70 réanimations françaises, toutes spécialités confondues : plus de 55% des admissions ont bénéficié de ventilation mécanique invasive. [7]

La ventilation mécanique (VM) consiste à **suppléer totalement ou partiellement la ventilation spontanée**, à l'aide d'un respirateur. On parle de ventilation mécanique invasive lorsque l'interface est une sonde d'intubation ou une canule de trachéotomie et de ventilation non-invasive lorsque l'interface est un masque adapté, positionné sur le visage.

Elle est **anti-physiologique** : contrairement à la ventilation spontanée qui alterne un régime de pression négatif lors de l'inspiration et positif lors de l'expiration, la ventilation mécanique est dite en pression positive. Le ventilateur insufflé un volume ou une pression prédéterminée dans les voies aériennes du patient et s'en suit une exsufflation.

Le régime de pression devient donc positif.

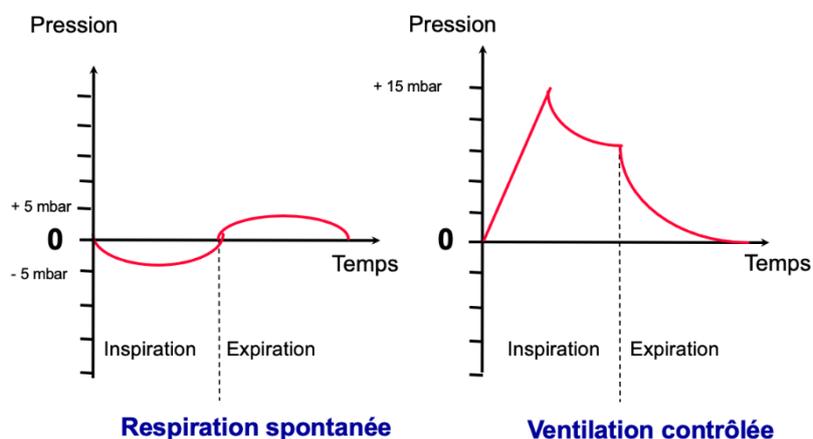


Figure 1 : Différences de pression entre une respiration spontanée et contrôlée, selon [8]

Lorsque la distribution de la ventilation alvéolaire (VA) et de la perfusion pulmonaire (Q) sont harmonieusement réparties, l'hématose est optimisée. La VM homogénéise la ventilation mais la perfusion n'est pas modifiée ; cela aboutit à un rapport VA/Q plus hétérogène. [9]

Ses indications sont très diverses et balayent l'ensemble du champ des prises en charge post-opératoires jusqu'aux détresses respiratoires aiguës hypoxémiques.

La VM est une thérapeutique symptomatique. Ainsi, des thérapeutiques à visées curatives de la pathologie initiale seront mises en place.

Les indications d'instauration d'une VM sont nombreuses :

- les polytraumatisés ;
- les comas qui conduisent à des anomalies de la commande ventilatoire ;
- un dysfonctionnement des muscles respiratoires (type neuromyopathie) ;
- une hypoxémie grave avec la pression artérielle partielle en oxygène (PaO_2) < 40 ou < 50 mmHg : pneumopathie, syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) ;
- décompensation aiguë des patients atteints de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) ;
- arrêt cardio-respiratoire ;
- insuffisance respiratoire post-opératoire ;
- altération mécanique et dysfonctionnement diaphragmatique (chirurgie thoracique et sus-ombilicale par exemple).

Toute pathologie peut engendrer des complications : le patient peut nécessiter l'instauration d'une ventilation mécanique, à tout moment, et décompenser.

Trois interfaces ou moyens de raccordements existent : le tube naso-trachéal, le tube oro-trachéal et la canule de trachéotomie.

Les techniques de ventilation non invasive (VNI) ne seront pas détaillées ici. Cette dernière sera proposée en prévention d'une éventuelle intubation ou en post-extubation.

1.1.4 Les différents modes ventilatoires

Seront détaillés les modes les plus fréquemment utilisés en réanimation. [10]

1.1.4.1 Ventilation en mode contrôlé

Il s'agit d'un support ventilatoire total, le patient étant totalement passif. Le débit dépendra du mode de ventilation choisi : il sera constant en ventilation à volume contrôlé et décélérant en ventilation en pression contrôlée. [10]

- Ventilation en volume contrôlé (VVC) :

Le volume que le patient reçoit à chaque cycle est prédéterminé. Le clinicien règle le temps inspiratoire ainsi que la fréquence respiratoire. Une alarme de pression est nécessaire pour la surveillance des risques barotraumatiques.

Les modes « volume » sont utilisés généralement pour les jeunes adultes polytraumatisés car leur parenchyme pulmonaire est relativement sain.

- Ventilation en pression contrôlée (VPC) :

C'est un mode très utilisé car il est davantage baroprotecteur.

Le débit décélérant rend ce mode de ventilation moins agressif que le VC.

Cependant, le volume pourra varier indépendamment des réglages de l'opérateur. La programmation d'une alarme sera nécessaire afin d'intervenir s'il n'est pas dans les normes acceptées.

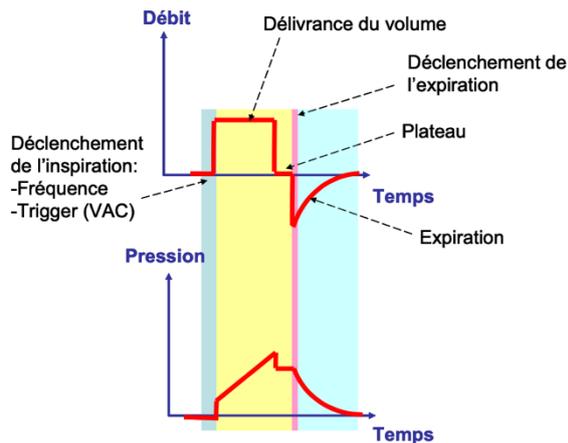


Figure 2.a

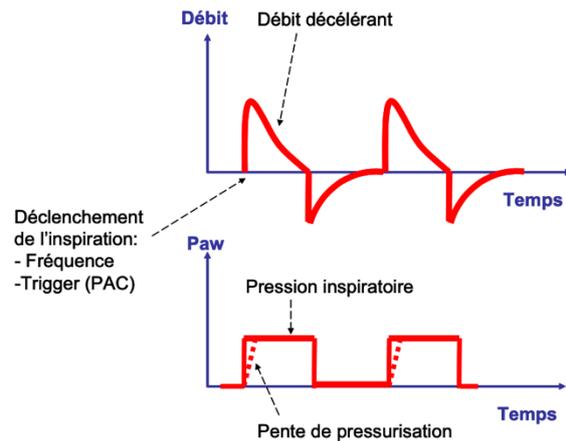


Figure 2.b

Figure 2 : a. Les phases du cycle respiratoire en VVC volume selon [10]
b. Les phases du cycle respiratoire en VPC en pression selon [10]

On parle de **ventilation assistée contrôlée (VAC)**, en volume ou en pression, lorsque la ventilation est contrôlée mais que les efforts inspiratoires du patient peuvent être détectés. Ainsi, le patient peut déclencher un cycle supplémentaire. Le respirateur détectera une dépression appelée « trigger inspiratoire ». Il délivrera un volume courant (V_t) ou une pression que le clinicien devra régler en amont.

1.1.4.2 Ventilation assistée

- Ventilation spontanée avec aide inspiratoire (VS-AI)

Il s'agit d'une ventilation en pression. Lorsque l'effort inspiratoire du patient est détecté par le respirateur, les voies aériennes sont pressurisées.

Le clinicien règle le niveau d'aide inspiratoire, qui détermine le niveau d'assistance [10]. Comme aucun cycle n'est garanti, l'élément clé à surveiller sera la fréquence respiratoire.

Il est possible de rajouter sur ce mode de ventilation une pression expiratoire positive (PEP) qui correspond à la pression pulmonaire restante à la fin d'une expiration, empêchant les alvéoles pulmonaires de se collaber. On parlera ainsi de VS-AI-PEP.

On retrouve d'autres modes de ventilation moins utilisés, comme le **Biphasic positive airway pressure (BIPAP)** globalement équivalent au « **airway pressure release ventilation** » (**APRV**) où le ventilateur exerce une variation de pression des voies aériennes entre un niveau maximal et un niveau minimal. Le patient peut effectuer des cycles spontanés. Autrement, le mode sera en pression contrôlée.

La ventilation assistée nécessite moins de sédation qu'un mode VAC et permet la progression du sevrage de la ventilation mécanique. [10]

La ventilation mécanique n'est pas sans conséquence : elle entraîne l'arrêt du travail des cils vibratiles et par conséquent l'altération de la clairance muco-ciliaire. Le rôle des voies aériennes supérieures est totalement inhibé. Le régime étant en pression positive, il se produit une inversion des pressions thoraciques ainsi que la réduction du débit cardiaque. Les muscles respiratoires sont mis au repos.

1.1.5 Complications

Les complications liées à l'intubation sont fréquentes et concernent 20 à 40% des intubations. [11] Ce sont, entre autres, les blessures des cordes vocales, les sténoses trachéales, les intubations œsophagiennes, etc. S'en suivront potentiellement des troubles de la déglutition. [12]

Quant à la ventilation, les risques associés sont le pneumothorax, la toxicité de l'oxygène (une fibrose pulmonaire peut se manifester si le patient est soumis à une fraction inspirée en oxygène (FiO₂) trop élevée de manière prolongée) [13] et l'hypotension (qui peut laisser envisager un pneumothorax compressif).

Une des principales complications liées à la ventilation mécanique est la **dysfonction diaphragmatique**. Cet élément très important dans le cadre de cette revue sera détaillé à la page 10.

L'autre principale complication est représentée par les **pneumonies acquises sous ventilation mécanique (PAVM)** [14]. En effet, elles se définissent comme « toute pneumonie survenant chez un malade dont la respiration est assistée par une machine, soit de manière invasive par l'intermédiaire d'un tube endotrachéal ou d'une trachéotomie, soit de manière non invasive par l'intermédiaire d'un masque facial ou d'un autre procédé, dans les 48 heures précédant la survenue de l'infection ». Sur une population de patients ventilés mécaniquement, l'apparition d'une PAVM complique le séjour de 10 à 50% d'entre eux. La mortalité attribuable à la pneumonie elle-même est de l'ordre de 50%. [15]

La SFAR indique que le clinicien doit être particulièrement attentif à l'apparition de cette pathologie notamment si [16] :

- le patient a dû être réintubé une ou plusieurs fois (c'est le facteur de risque le plus important) [17]
- la ventilation mécanique a été prolongée ;
- le patient est comateux ; polytraumatisé ; présente une défaillance multi-viscérale, un SDRA, des antécédents de maladies pulmonaires ; est immunodéprimé.

Cette pathologie impacte significativement le temps d'hospitalisation, la durée de la ventilation mécanique, la morbidité et la mortalité. Cependant, le diagnostic est très difficile car aucun signe n'est spécifique (sécrétions purulentes, dégradations hémodynamiques et ventilatoires, etc).

La prévention de cette pathologie repose sur des soins de base du malade ventilé (notamment la kinésithérapie assurant un drainage efficace des sécrétions, une position demi-assis, etc). [18]

S'ajoutent à cela toutes les complications liées à l'alitement, l'immobilisation et la sédation profonde, ainsi que les répercussions psychiques qu'un séjour en réanimation peut engendrer.

Il est important de souligner que la prévalence de la neuromyopathie acquise en réanimation (NMAR) varie entre 30 et 70% des patients ventilés mécaniquement plus de 7 jours. [19] [20]

Le clinicien doit donc trouver le juste équilibre de sa prise en charge entre la prolongation de cette ventilation invasive ou une extubation trop précoce.

1.1.6 Sevrage de la ventilation mécanique

Ces vingt dernières années, le sevrage de la ventilation mécanique a fait l'objet de nombreuses recherches et de discussions entre experts concernant sa définition, sa classification, et les protocoles qui peuvent être appliqués.

Esteban et al. [21] ont constaté que les méthodes de sevrage variaient considérablement entre les pays et même au sein d'un même pays.

En pratique, le sevrage de la ventilation mécanique se définit comme « le processus aboutissant à l'arrêt de l'assistance ventilatoire (« déventilation »). » [22]

Pendant longtemps, le sevrage était associé au geste d'extubation (ou de décanulation dans le cadre d'une trachéotomie) qui consiste en l'ablation de la prothèse endotrachéale ayant permis la ventilation invasive. [23]

Aujourd'hui, ces deux gestes sont distingués même s'ils sont très complémentaires.

En effet, un patient peut s'avérer déventilable, c'est-à-dire qu'il assume seul ses besoins ventilatoires, mais non extuable (s'il ne peut pas assurer le drainage seul des sécrétions bronchiques ou qu'il a des troubles de la déglutition par exemple). [11]

En pratique, le sevrage dure environ 40% du temps total de la ventilation mécanique. [24]

Une conférence internationale de consensus publiée en 2007 [25] a proposé une classification du sevrage de la ventilation mécanique en 3 groupes :

- **Sevrage simple** : le succès de l'extubation est obtenu à la suite d'une unique épreuve de ventilation spontanée (VS).
- **Sevrage difficile** : le succès de l'extubation est obtenu après deux à trois épreuves de VS, avec moins d'une semaine entre la première et la dernière épreuve.
- **Sevrage prolongé** : échec d'au moins trois épreuves de VS ou bien plus d'une semaine s'est écoulée entre la première épreuve et celle que le patient a réussi.

Le sevrage était considéré comme initié lors de l'épreuve de ventilation spontanée. [25]

Admission



Figure 3 : Parcours schématisé des différentes phases du patient ventilé en réanimation, selon [25]

Toutefois, cette classification en 3 groupes s'avère en fait peu satisfaisante car un nombre trop important de patients ne peuvent pas être classés dans l'un des trois groupes.

Une étude menée en 2016 sur plus de 2700 patients en réanimation le démontre : la moitié des patients ne pouvaient pas être inclus dans cette classification. Ainsi, une nouvelle classification est apparue, reposant 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 sevrage. Le succès du sevrage étant défini comme l'absence de nécessité de VM invasive pendant 7 jours. » [22,26]

Dès lors, tous les patients peuvent être classés. Cette nouvelle classification commence à être utilisée [27] et a déjà été validée sur une autre étude comprenant plus de 1600 patients. [28]

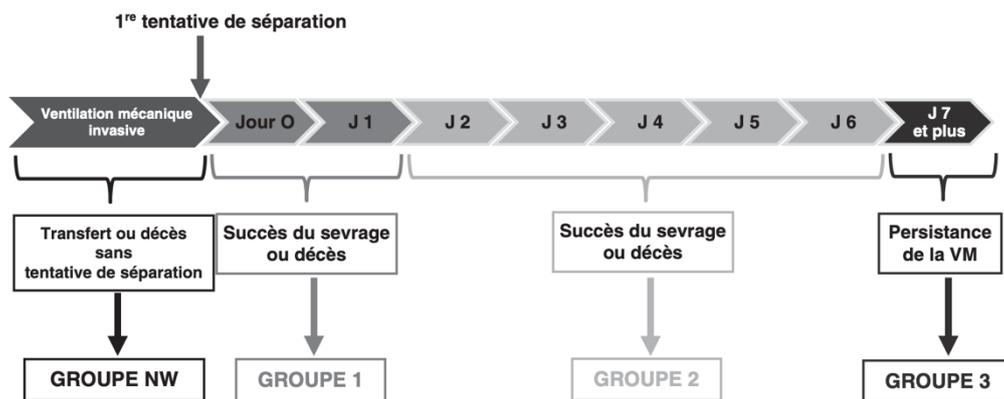


Figure 4 : Classification « WIND » schématisée (NW = no weaning), selon [22,26]

Entre 20 et 25% des patients sous VM seront concernés par des difficultés au sevrage. [29]

Les échecs d'extubation concernent plus d'un patient sur dix en réanimation. Ce facteur est très aggravant pour le pronostic du patient. Globalement, 15% des patients nécessitent une réintubation. Pour les patients avec le plus de comorbidités, ce chiffre atteint 30%. La mortalité associée aux patients réintubés est très élevée et concerne jusqu'à 1 patient sur 2. [11]

1.2 Physiopathologie

1.2.1 Diaphragme

Les notions d'anatomie sont issues de [30].

Le diaphragme est un muscle profond séparant le thorax et l'abdomen. Il prend la forme d'un dôme à deux coupoles :

- une coupole droite en regard du 4^{ème} espace intercostal.
- une coupole gauche en regard du 5^{ème} espace intercostal.

Ses insertions périphériques sont :

- Au niveau du rachis :
 - un pilier principal droit sur L1, L2, L3 (\pm L4) au niveau des corps vertébraux (antéro-droit) ;
 - un pilier principal gauche sur L1 et L2 au niveau des corps vertébraux (antéro-gauche) ;
 - deux piliers accessoires sur L2 ;
 - une arcade d'union entre les piliers principaux.
- Arcades fibreuses :
 - une médiale, allant du corps de L2 au processus transverse de L1, permettant le passage du psoas ;
 - une moyenne, allant du processus transverse de L1 à la 12^{ème} côte, permettant le passage du carré des lombes ;
 - une latérale, allant de la 12^{ème} côte à la 11^{ème} côte.
- 6 derniers arcs costaux.
- Appendice xiphoïde du sternum.

Son **insertion centrale** est une nappe tendineuse appelée le **centre phrénique**. Il a une forme de trèfle à trois folioles et occupe une large surface.

Le centre phrénique est composé :

- d'une foliole ventrale (petite et transversale) ;
- d'une foliole droite plus grande que la gauche ;
- entre les deux folioles se trouvent deux bandes fibreuses semi-circulaires :
 - bande caudale : entre la foliole droite et la foliole gauche ;
 - bande crâniale : entre la foliole ventrale et la foliole droite.

La face supérieure donne insertion au ligament phrénico-péricardique.

Les fibres convergent crânialement vers le centre phrénique et sont fortement ascensionnelles. La majorité d'entre elles ont une orientation verticale. Celles qui sont issues des piliers principaux et de leur arcade croisent la ligne médiane, puis circonscrivent le hiatus œsophagien avant de s'entrecroiser à nouveau et se de terminer dans la concavité postérieure du centre phrénique.

Ce muscle comporte trois principaux orifices :

1. **Hiatus aortique** : en regard de T12. Fibreux et non contractile, il se trouve entre les piliers principaux et leur arcade d'union.
2. **Hiatus œsophagien** : en regard de T10. Musculaire et contractile, il se situe dans l'entrecroisement des fibres musculaires issues des piliers principaux et laisse aussi passer le nerf vague.
3. Foramen de la **veine cave inférieure** : en regard de T9, à droite de l'intersection des deux bandes. Il laisse passer le nerf phrénique droit.

Le diaphragme comporte d'autres orifices : un, laissant passer le nerf phrénique gauche (en avant de la foliole gauche), un autre concernant les nerfs grand et petit splanchnique (entre les piliers et les fibres musculaires), et un dernier, l'orifice du sympathique, entre les piliers.

Sur le plan mécanique, c'est le **principal inspireur**. Sur un sujet au repos, il assure plus de 50% du volume courant. [31]

Lors de sa contraction, le diaphragme abaisse le centre phrénique en prenant appui sur les viscères, augmentant ainsi le diamètre vertical du thorax. Il a également un rôle lordosant.

Au niveau du caisson abdominal, il comprend :

- un rôle statique, permettant la stabilisation du rachis ;
- un rôle dynamique, permettant les expulsions (défécation, miction, accouchement).

Son innervation est induite par les nerfs phréniques droit et gauche (ainsi que les 6 derniers nerfs intercostaux pour la proprioception), racine C4.

Les artères phréniques droites et gauche, l'artère thoracique interne et les artères accessoires (intercostales et médiastinales) procèdent à sa vascularisation.

La majorité de ses fibres sont peu fatigables. Quelle que soit la pathologie, il est nécessaire de conserver au maximum la fonction diaphragmatique : cette fonction est vitale pour l'individu.

1.2.2 Dysfonction diaphragmatique induite par la ventilation mécanique

Elle se définit comme « la perte de la capacité du diaphragme à générer une force. » [32] [33]

La mise au point datant de 2020 de la SRLF indique que la prévalence de la DDIVM est très élevée. Dès l'admission, 60% des patients seront concernés (elle peut être induite par la gravité de la pathologie responsable de l'admission en soins critiques). Pour ceux présentant un sevrage prolongé de la VM, ce chiffre s'élève jusqu'à 80%. [34]

Demoule et al. ont réalisé une étude prospective en 2016 évaluant la DDIVM chez les patients.

8 patients sur 10 ont développé une DDIVM durant leur séjour dont **26% à la suite de la mise en place d'une ventilation mécanique invasive.** [35]

La DDIVM est associée à plusieurs changements cellulaires dans le diaphragme, comme l'indique la mise au point de M. Georges en 2013 [32] :

- une **atrophie musculaire** ; *Shanely et al.* en 2002 ont démontré qu'elle apparaît dès 18 heures après l'initiation de la VM [36] ;
- un stress oxydatif ;
- des **anomalies structurales** ; *Zhu et al.* en 2005 ont fait la démonstration des ruptures des myofibrilles du diaphragme dès 48 heures après l'initiation de la VM. [37]
- un **remodelage des fibres musculaires diaphragmatiques** ; le diaphragme est composé de plus de 75% de fibres non fatigables. Or, une DDIVM conduit à une modification du phénotype avec une augmentation de la proportion de fibres fatigables, induisant une diminution de la force et de l'endurance du diaphragme ;
- une dysfonction mitochondriale.

Levine *et al.* ont réalisé en 2008 [38] des biopsies diaphragmatiques chez des sujets en état de mort encéphalique et ont comparé la structure des fibres musculaires diaphragmatiques des sujets ayant été sous ventilation mécanique invasive entre 18 et 69 heures (image A) avec d'autres sujets n'en ayant reçu que 2 à 3 heures (image B). Ils ont constaté des modifications cellulaires conséquentes, notamment une **diminution massive du calibre des fibres musculaires**.

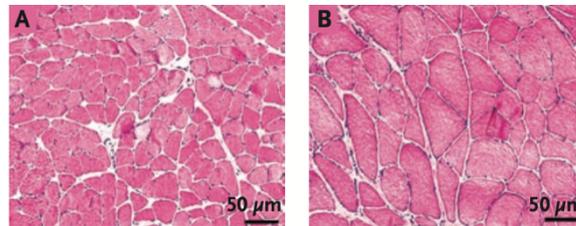


Figure 5 : Comparaison du calibre des fibres musculaires diaphragmatiques selon [38]

En pratique, 24 heures après l'initiation de la VM, la capacité contractile du diaphragme diminue drastiquement. [39]

Physiologiquement chez le sujet sain, le diaphragme se contracte et travaille sous résistance tout au long de la vie. Lors de l'instauration de la VM, le travail du diaphragme sera aboli (d'autant plus si le patient est curarisé comme c'est souvent le cas).

Il semble évident que cette pathologie est associée à des difficultés de sevrage, à des échecs d'extubation, à une mortalité importante, à des séjours prolongés en réanimation et à des coûts élevés. L'apparition très rapide de cette dysfonction [40] suggère au clinicien qu'il faut attentivement choisir un mode de ventilation adapté, et privilégier la possibilité de cycles spontanés pour le patient, avec une sédation - bien que souvent nécessaire - la plus minime et la plus faible possible. Par ailleurs, de nouveaux modes de ventilation sont aujourd'hui en développement et pourraient permettre de réduire la prévalence de cette dysfonction.

1.2.3 Muscles inspireurs accessoires

Les muscles **scalènes** et **intercostaux externes** interviennent de façon physiologique lors d'une inspiration. Cependant, lors d'une inspiration dite forcée, d'autres muscles « inspireurs accessoires » vont intervenir. Ces muscles s'insèrent sur le grill costal et permettent son élévation. Les diamètres antéro-postérieur et latéral de la cage thoracique sont ainsi augmentés à l'inspiration. Ils peuvent être réquisitionnés lors d'un effort ou d'une gêne à l'inspiration par exemple.

- Les scalènes :

Ils se situent dans la région cervicale. On retrouve le scalène antérieur, le moyen et le postérieur, qui s'insèrent sur la première et la deuxième côte.

- Les intercostaux externes :

Il s'agit de 11 paires de muscles se situant dans les espaces intercostaux. En plus de leur action durant l'inspiration, ils jouent un rôle régulateur sur l'équilibre entre la pression atmosphérique et la pression intra-pleurale.

Les autres muscles inspireurs accessoires sont :

- le sterno-cléido-occipito-mastoïdien (SCOM) ;
Situé dans la face antérolatérale de la région cervicale, il se compose de 4 chefs répartis en deux plans, supérieur et profond.
- le grand pectoral ;
Ses insertions principales se situent sur les côtes et le sternum. Il fait partie du groupe de muscles antérieurs du thorax. Il participe à l'inspiration forcée lorsque l'humérus est fixe.
- le petit pectoral ;
Il participe à l'inspiration forcée lorsque la scapula est fixe, car il s'insère sur les côtes 3 à 5.
- le dentelé antérieur ;
Il est inspireur accessoire lorsque la scapula est fixe ; il s'insère sur les côtes 1 à 10.
- **les muscles infra-hyoïdiens** : ils s'insèrent sur le sternum et la première côte ;
- **l'ilio costal** ;
- **le subclavier**, de manière très accessoire ; il s'insère sur la première côte et sur la clavicule.

En cas de détresse respiratoire aiguë, le **tirage inspiratoire** est un signe de lutte. Il se manifeste par la visibilité anormale de la contraction des muscles inspireurs du cou (SCOM, scalènes) et des intercostaux.

Le métabolisme de ces muscles ne leur permet pas de se contracter de façon soutenue sur une période prolongée (contrairement au diaphragme) et ce signe annonce la survenue probable d'une défaillance ventilatoire.

1.3 Kinésithérapie en réanimation

1.3.1 Une profession indispensable en service de réanimation

Le **code de la santé publique définit les compétences générales du kinésithérapeute**, selon les articles R. 4321-1 à R. 4321-13. [41]

De plus, l'article D 712-110 du **Décret n°2002-466 du 05 Avril 2002** précise que :

« L'établissement de santé doit être en mesure de faire intervenir en permanence un masseur-kinésithérapeute justifiant d'une expérience attestée en réanimation ».

Depuis ce décret, la kinésithérapie a été reconnue comme une profession indispensable en service de réanimation.

La Société de Kinésithérapie de Réanimation (SKR) a établi un référentiel de compétences et d'aptitudes du masseur-kinésithérapeute de réanimation (MKREA) en secteur adultes, qui a été validé en 2011. [42]

Selon ce référentiel, en secteur de réanimation, le MKREA participe :

- au désencombrement bronchique du patient, par des techniques manuelles, instrumentales, ainsi que des aspirations endo-trachéales ;
- à la récupération de l'intégrité de la ventilation du patient (VNI, sevrage de la ventilation mécanique, etc.) ;

- à l'évaluation et la rééducation des troubles éventuels de la déglutition ;
- la prévention et la prise en charge des complications locomotrices du patient en réanimation (notamment des neuropathies acquises en réanimation (NMAR)) ;
- la prévention des complications liées à l'alitement et au décubitus (notamment au risque d'escarres)
- à la récupération fonctionnelle ;
- à la réadaptation à l'effort ;
- à la lutte contre la douleur ;
- aux décisions éthiques.

La technicité du secteur, le matériel spécialisé et la gravité des affections des patients pris en charge nécessitent un professionnel correctement formé.

De plus, le référentiel « **Structures et organisation des unités de réanimation** », publié en 2012, a établi plusieurs recommandations concernant l'activité et l'organisation du kinésithérapeute en réanimation [43] :

- il faut un ratio kinésithérapeute / patient minimal de **1/8 à 10 patients** (le terme "il faut" correspond à une règle incontournable ou à des recommandations fortes, basées sur des données irréfutables) ;
- une liste de matériel permettant de pratiquer la kinésithérapie respiratoire de réanimation est fortement conseillée, comme du matériel pour la VNI, un générateur de CPAP simple haut débit, un spiromètre portable permettant au moins la mesure de la capacité vitale et du VEMS, qui s'adapte aux sondes endotrachéales, etc.

La réanimation est par ailleurs, le seul service avec des recommandations sur le ratio kiné/patient.

Enfin, des recommandations formalisées d'expert des sociétés savantes de réanimation ont établi un référentiel sur **l'intubation et l'extubation du patient en réanimation en 2018**, dont les deux ci-dessous concernent l'intervention du MKREA lors du protocole d'extubation [11] :

- « R7.6 : Il faut probablement faire intervenir un kinésithérapeute avant et après l'extubation chez les patients ventilés de plus de 48 heures afin de diminuer la durée de sevrage et limiter le risque de réintubation. (Grade 2+, accord fort) »
- « R7.7 : Il faut probablement faire intervenir un kinésithérapeute au cours du geste de l'extubation afin de limiter les complications immédiates liées au surencombrement chez les patients à risque. (Grade 2+, accord fort) ».

La prise en charge kinésithérapique en réanimation comporte trois versants :

- un versant moteur ;
- un versant de prévention des complications liées à l'alitement ;
- un versant respiratoire.

1.3.2 Évaluation de la force des muscles inspireurs

Comme toute faiblesse musculaire, il est important pour le clinicien de quantifier le degré d'atteinte pour ainsi définir le niveau d'entraînement adapté.

Plusieurs outils sont ainsi disponibles : les **mesures de pressions**, l'électromyogramme qui ne sera pas détaillé car peu adapté, et un système de ventilation qui monitore l'activité diaphragmatique, pas détaillé également car trop peu utilisé. [44]

→ Mesure de la force inspiratoire maximale :

Cette mesure évalue l'ensemble des muscles inspireurs : le diaphragme et les muscles inspireurs accessoires. On parle ainsi de la **pression inspireur maximale PiMax**. C'est une méthode préalable au renforcement efficace des muscles inspireurs. En effet, comme tout renforcement, il faudra se baser sur un certain pourcentage de la PiMax.

Les normes de cette mesure ont été établies par *F. Black et E. Hyatt* [45] :

- pour les femmes, $PiMax = 104 - (0,51 \times \text{âge})$;
- pour les hommes, $PiMax = 143 - (0,55 \times \text{âge})$.

Une étude prospective de *Bisset et al.* de 2015 a démontré que plus d'un patient sur trois, ventilé depuis plus de 7 jours, avait une faiblesse des muscles inspireurs avec une PiMax d'en moyenne 30 - 35 cmH₂O. [46]

De plus, en 2007, *De Jonghe et al.* [47] ont admis qu'il fallait considérer les patients avec une PiMax inférieure à 30 cmH₂O comme difficilement sevrables. Comme l'indique la figure 6 reliant le succès de l'extubation à une PiMax supérieure ou **inférieure à 30 cmH₂O**, l'extubation réussie des patients au seuil inférieur est considérablement retardée.

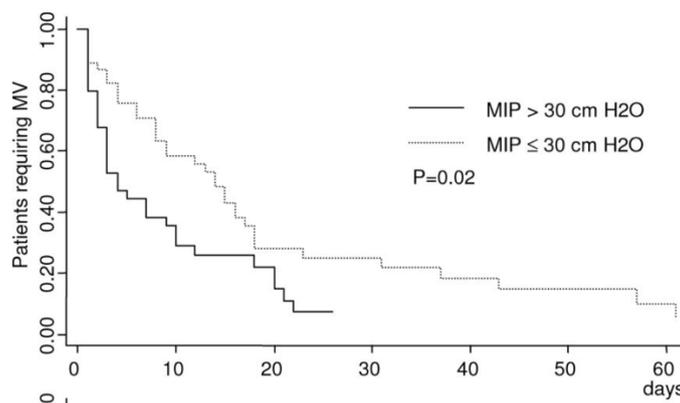


Figure 6 : Corrélation entre le succès de l'extubation et la PiMax selon [47]

Il est à noter qu'en réanimation, obtenir la participation adéquate du patient sous ventilation mécanique est parfois difficile.

Une technique facile à mettre en œuvre et reproductible consiste à utiliser un **manomètre respiratoire** (Respiratory Pressure Meter).

Le patient est encouragé à « vider tout l'air qui se trouve dans ses poumons » avant de prendre une inspiration maximale. Trois essais sont réalisés et le plus efficace des trois est enregistré. [48]

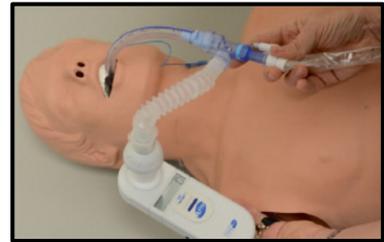


Figure 7 : utilisation d'un manomètre respiratoire avec une sonde endotrachéale, d'après [55]

Il est important de spécifier que ce peut être une épreuve très fatigante pour le patient et qu'il faudra surveiller les paramètres respiratoires et hémodynamiques plusieurs minutes après celle-ci.

D'autres techniques moins reproductibles ont été étudiées, nécessitant une moindre participation du patient, à l'aide d'une valve uni-directionnelle directement reliée à la sonde endotrachéale.

Cette technique a été étudiée par *Marini et al.* [49]

Sur certains respirateurs il est également possible d'avoir une mesure de la PiMax, ce qui évite de déconnecter le patient à ce dernier.

Il est facilement possible d'utiliser un manomètre respiratoire si le patient a été extubé où via une canule de trachéotomie.

1.3.3 Entraînement des muscles inspireurs en réanimation

C'est une technique visant à faire gagner en force et en endurance les muscles inspireurs. Elle a été décrite pour la première fois dans les années 1980 par *TK. Aldrich*. [50] [51]

En réanimation, deux méthodes ont été décrites pour les patients sous ventilation mécanique.

1.3.3.1 L'ajustement de la sensibilité du trigger inspireur

Cette technique consiste à diminuer, directement sur le respirateur, la sensibilité du seuil de déclenchement des cycles respiratoires. [44]

Ce geste controversé est peu utilisé car la charge de travail pour le patient ne se trouve qu'au début du cycle inspireur, au déclenchement.

Il a été utilisée pour la première fois par *Caruso et al.* en 2005 [52] et n'a montré aucun changement significatif au niveau des paramètres respiratoires.

1.3.3.2 L'utilisation d'une valve à seuil (Threshold IMT[®])

Cet appareil permet une résistance allant de 9 à 41 cmH₂O.

Il peut facilement être relié à une sonde d'intubation ou à une canule de trachéotomie.

L'inconvénient est que, pour les patients les plus faibles, la résistance la plus basse de l'appareil, 9 cmH₂O, sera inatteignable. Concernant la place de l'EMI dans les établissements français, *Bonnevie et al.* ont réalisé une enquête sur plus de 260 MKREA français en 2015. [53] Un tiers d'entre eux ont déclaré utiliser l'EMI.



Figure 8 : *Threshold IMT®* connecté à une sonde endotrachéale selon [55]

Les principales raisons de la non-utilisation étaient :

- un manque de connaissances sur l'utilisation de l'EMI sur les patients ventilés ;
- un manque de matériel ;
- un manque de littérature à ce sujet ;
- des bénéfices incertains.

Quant aux thérapeutes qui pratiquaient cette technique, seulement 16% évaluaient la PiMax.

Les techniques les plus fréquentes utilisées par les MKREA étaient :

- la ventilation abdomino-diaphragmatique ;
- les techniques de respiration profonde ;
- la spirométrie incitative.

Ces techniques ne comprennent cependant pas de résistance et ne peuvent pas être considérées comme de l'EMI. De plus, leur intérêt n'a pas été validé en ce qui concerne le réentraînement des muscles inspireurs ou leur éventuel rôle dans le sevrage de la ventilation mécanique.

Plusieurs articles incluent dans leur stratégie thérapeutique de sevrage l'entraînement des muscles inspireurs, pour autant la véritable indication de ce traitement en réanimation reste encore à déterminer. [11,32,34]

En 2008, malgré un manque de littérature à ce sujet, des recommandations de la European Respiratory Society et de la European Society of Intensive Care Medicine ont vu le jour et indiquent que le renforcement des muscles inspireurs pourrait être efficace dans le sevrage de la VM. [54]

Dans un essai clinique randomisé en 2016 [55] en pratiquant l'EMI sur des patients en post-extubation, *Bisset et al.* ont démontré l'amélioration de la fonction diaphragmatique, ainsi qu'une augmentation de la PiMax par rapport au groupe contrôle. Néanmoins, aucun véritable intérêt clinique n'a été relevé (pas de différence significative sur la durée de séjour, sur les taux de réintubation, etc.)

1.3.4 Modalités de renforcement

À ce jour il n'y a aucune standardisation de protocole de renforcement des muscles inspireurs en réanimation, d'autant plus que c'est une technique relativement peu utilisée.

Chaque étude s'intéressant au sujet établit son propre protocole même si des similitudes peuvent apparaître dans la littérature.

En 2013, *T. Bonnevie* a réalisé une mise au point sur l'entraînement en force des muscles inspirateurs du patient ventilé et a proposé un tableau avec des modalités de renforcement s'accordant avec la littérature. [44]

Il indique alors que l'EMI n'a pas sa place dans la pratique courante du MKREA en réanimation et que d'autres études sont nécessaires pour évaluer son impact.

L'apparition de littérature a nécessité l'actualisation de cette mise au point en 2015. [56]

Une proposition de protocole a été réalisée :

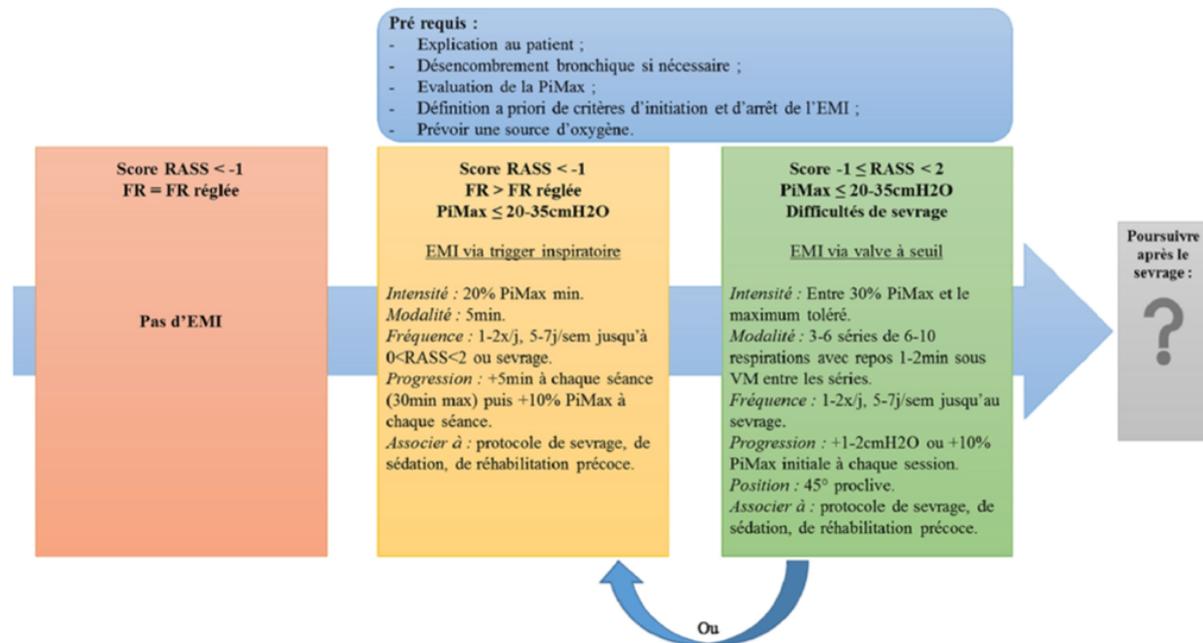


Figure 9 : Proposition de modalités de renforcement des muscles inspiratoires selon [56]

Le score RASS [57], disponible en **Annexe 3**, permet de déterminer l'état de vigilance et d'agitation du patient.

Les recommandations de *Bisset et al.* [58] publiées en 2018 précisent que si la mesure de la PiMax ne peut pas être effectuée, le thérapeute peut régler le niveau de résistance du Threshold IMT[®] sur un niveau bas et l'augmenter petit à petit lors d'une épreuve test. Le patient devra réaliser 6 cycles respiratoires à chaque résistance. L'objectif est d'atteindre la plus haute résistance pour le patient mais qu'il soit encore capable d'enchaîner 6 cycles respiratoires. Cependant, c'est une épreuve éprouvante ne pouvant pas être réalisée sur les patients les plus fragiles. Si elle est réalisable, il faudra débiter la séance le lendemain car le patient ventilé reste très fatigable.

Cette revue a conseillé une modalité de renforcement :

- une intensité de 50% de la PiMax ;
- 5 sets de 6 répétitions une fois par jour, tous les jours de la semaine exceptée le week-end.

Ces recommandations suggèrent de continuer l'entraînement jusqu'à ce que le patient retrouve une norme de PiMax selon son sexe et son âge.

De plus, des propositions concernant la population de patients en réanimation potentiellement éligibles à cet entraînement ont été énoncées.

Il est donc possible de considérer l'EMI sur le patient ventilé si :

- il est ventilé depuis plus de 7 jours ;
- il est suffisamment alerte et coopérant ;
- PEEP (Positive End Expiratory Pressure = pression expiratoire positive) inférieure ou égale à 10 cmH₂O ;
- FiO₂ inférieure à 0,6 ;
- fréquence respiratoire inférieure à 25 ;
- capable de générer des cycles respiratoires spontanés.

1.4 Intérêts et objectifs de cette revue de littérature

Aujourd'hui, face aux complications que peut induire la ventilation mécanique mais également aux surcoûts des séjours prolongés en réanimation avec un nombre de lits limités, en réduire la durée devient un véritable enjeu pour les cliniciens.

Les kinésithérapeutes de réanimation possèdent plusieurs outils thérapeutiques et ont un rôle bien déterminé au sein de l'équipe pluridisciplinaire.

La faiblesse des muscles inspireurs fait partie des risques d'échec de sevrage de la ventilation invasive. Il est admis que leur intégrité est une étape primordiale dans la réussite du sevrage de la VM. Cependant, son rôle au sein du sevrage de la ventilation mécanique reste flou avec des résultats controversés quant à sa véritable efficacité. [52]

De plus, les effets de l'EMI sur le long terme après un séjour en réanimation n'ont pas été étudiés pour le moment.

Une revue datant de 2020 a étudié l'intérêt de l'EMI et la mobilisation précoce sur le sevrage de la ventilation mécanique chez les patients intubés ventilés [59]. De nombreuses études incluses avaient des risques de biais élevés ou difficilement évaluables, menant à une hétérogénéité trop importante des résultats.

L'EMI fait déjà partie intégrante des protocoles de réhabilitation précoce.

Ce type de renforcement a montré son utilité dans la réhabilitation respiratoire et fait partie des recommandations chez les patients étant atteints de BPCO. [60]

Aujourd'hui la littérature s'accorde sur le fait que c'est une technique simple à effectuer en pratique et sûre qui pourrait potentiellement apporter un bénéfice au patient intubé et ventilé. Pour autant, aucun protocole de renforcement des muscles inspireurs en réanimation n'est établi et très peu de MKREA français incluent l'EMI dans leur pratique quotidienne.

Exerçant mon apprentissage au sein d'un service de réanimation et souhaitant une spécialisation dans ce secteur, il m'a paru évident de réaliser cette revue de littérature. Divers questionnements sur l'intérêt de cette technique ont émergé lors de mes journées en soins intensifs, face au constat que les échecs de sevrage sont fréquents et que le kinésithérapeute doit agir pour les prévenir.

Cette revue vise à déterminer si les données actuelles de la littérature peuvent placer l'entraînement des muscles inspirateurs dans l'arsenal thérapeutique des MKREA dans les protocoles de diminution de la durée de sevrage de la ventilation mécanique.

1.5 Hypothèses théoriques

Le renforcement des muscles inspirateurs pourrait permettre de réduire la durée de sevrage et d'optimiser la rémission du patient, en augmentant la pression inspiratoire maximale et par conséquent la force du diaphragme et les aptitudes de ventilation spontanée du patient, ainsi qu'en stimulant la participation active de ce dernier.



2 Méthode

2.1 Critères d'éligibilité des études

2.1.1 Types d'études

La question clinique de cette revue de littérature est « quel est l'intérêt du renforcement des muscles inspiratoires dans la durée de sevrage de la ventilation mécanique chez les patients intubés et ventilés en réanimation ? »

C'est une question de type **thérapeutique**.

Selon l'HAS, les essais cliniques randomisés constituent le schéma d'étude avec le niveau de preuve le plus élevé, présentant le moins de biais avec une méthodologie rigoureuse, qui peut mener à des recommandations de grade A ou B. Ils permettent d'évaluer l'impact d'une intervention et sont ainsi les plus adaptés aux questions thérapeutiques. [61] [62]

C'est donc le **seul schéma d'étude** qui sera retenu pour cette revue. Les articles retenus devront être rédigés en anglais ou en français. Les recherches ont été réalisées sur 6 mois, du mois d'août au mois de janvier 2022.

La problématique de cette revue a été établie selon le modèle PICO (Population, Intervention, Comparateur, Outcome).

2.1.2 Dates de publication

Les études devront avoir été publiées il y a moins de 10 ans (à partir de 2011) afin d'obtenir les données les plus actuelles possible.

2.1.3 Type de population

Les participants des études sont des patients, quel que soit leur sexe, de plus de 18 ans admis en réanimation, sous ventilation mécanique invasive depuis au moins 48 heures. Ils devront être suffisamment alerte pour participer le plus activement possible à l'intervention.

Nous excluons les patients atteints de pathologies neuromusculaires pour des raisons évidentes de paralysies respiratoires.

2.1.4 Type d'intervention, comparateur

L'intervention devra être de l'entraînement des muscles inspiratoires à l'aide d'un Threshold IMT®.

Le comparateur sélectionné sera la kinésithérapie manuelle et les soins standards. Selon les pays, les conventions et les professionnels de santé, les techniques sont très variables et plusieurs comparateurs appartenant aux soins standards de kinésithérapie de réanimation sont ainsi acceptés :

- mobilisations passives ou actives des quatre membres, kinésithérapie motrice.
- aspirations endo-trachéales ;
- compressions manuelles thoraciques ;
- positionnement ;
- toutes les techniques de drainage bronchique (AFE, ELTGOL, ELPr, etc.).

Nous excluons les techniques de kinésithérapie appareillées de type in-exsufflation mécanique par exemple.

2.1.5 Critères de jugement

Le critère de jugement **primaire** est la durée de sevrage de la ventilation mécanique.

Le critère de jugement **secondaire** est la force des muscles inspireurs, quantifiée par la pression inspiratoire maximale.

2.2 Méthodologie de la recherche

2.2.1 Bases de données

Les bases de données qui ont été utilisées pour cette recherche sont : PubMed, PEDro et Cochrane Library. Le moteur de recherche Google Scholar a également été utilisé.

2.2.2 Équation de recherche

Il a fallu adapter l'équation de recherche à la base de données. Ainsi, l'équation la plus complète a pu être utilisée pour la base de données Pubmed.

Base de données	Équation de recherche appliquée	Résultats
Pubmed	((Inspiratory muscle training) OR (threshold)) AND ((ICU) OR (intensive care unit) OR (critical care)) AND Mechanical ventilation AND Physiotherapy	146 résultats
PEDro	Inspiratory muscle training Intensive Care Unit	14 résultats
Google Scholar	Inspiratory muscle training ICU (Recherche avancée avec filtre de date : de 2011 à 2021)	13 résultats
Cochrane Library	Inspiratory muscle training AND intensive care unit	45 résultats

Tableau 1 : équation de recherche appliquée et résultats pour chaque base de données utilisée.

2.2.3 Critères d'inclusion et d'exclusion

- Critères d'inclusion des études :
 - essai clinique randomisé ;
 - le critère de jugement principal est évalué ;
 - écrit en anglais ou en français.
- Critères d'exclusion des études :
 - score PEDro < 7/10 ;
 - n'est pas un essai clinique randomisé ;
 - antérieur à 2011 ;
 - étudie une autre population (d'un âge supérieur à 70 ans ou inférieur à 16 ans).

2.2.4 Sélection des études

Après plusieurs étapes de sélection, j'ai sélectionné 4 articles éligibles à cette revue de littérature. Dans la partie résultats seront détaillées les données extraites de ces articles : on y retrouvera les critères d'inclusion et d'exclusion de la population, la description de l'intervention et du comparateur, celle des critères de jugement primaires et secondaires, ainsi que les résultats obtenus et le score PEDro de l'étude.

J'ai contacté un auteur qui publie depuis une dizaine d'années sur le sujet de l'entraînement des muscles inspireurs en réanimation et qui avait publié en 2012 un protocole d'un essai clinique correspondant à mes critères pour cette revue [63].

Cet auteur a pu me communiquer des informations sur son dernier essai clinique randomisé, correspondant au protocole, et datant du 31 août 2021. Cette étude n'a donc été étudiée dans aucune autre revue de littérature pour le moment.

Le cheminement de la sélection des essais cliniques se trouvera dans la partie diagramme de flux des résultats.

2.2.5 Évaluation de la qualité méthodologie des études sélectionnées

Il est primordial d'évaluer la qualité méthodologique des études sélectionnées. L'échelle de PEDro (Physiotherapy Evidence Database) [64] évalue la qualité des essais cliniques en rééducation. Elle est disponible en **Annexe 3**. Elle contient 11 items qui concernent la validité interne et externe de l'étude. Les points seront attribués uniquement si le critère est explicitement respecté.

Le critère 1 évalue la validité externe et renseigne sur l'éligibilité des sujets pour participer à l'étude. Les critères 2 à 9 concernent la validité interne de l'essai ainsi que les biais potentiels :

- le **biais de sélection** est évalué par les critères 2, 3 et 4 ;
- le **biais d'allocation** est évalué par le critère 3 ;
- les **biais de détection** et **d'évaluation** concernent les items 5, 6 et 7 ;
- les **biais de suivi** sont évalués par le critère 8 ;
- enfin, les **biais d'attribution** sont évalués par les critères 8 et 9.

Les critères 10 à 11 concernent les informations statistiques et l'interprétation des résultats.

Elle donne un score final de 10 points. Plus le score s'approche de 10 et plus la qualité de l'essai clinique randomisé est élevée. Cette échelle renseigne uniquement sur les risques de biais et non sur les résultats de l'essai clinique randomisé.

Dans cette revue de littérature nous ne prenons en compte que des essais cliniques ayant un score PEDro strictement supérieur à 6/10.

2.2.6 Méthode de synthèse des résultats

Les interventions sont très hétérogènes. En effet, aucun protocole utilisant l'EMI n'est standardisé et chaque essai a sa propre utilisation en ce qui concerne la durée, les répétitions, le nombre de séries, la fréquence dans la journée ou dans la semaine, la résistance, le travail selon un certain pourcentage de la PiMax, etc.

Chaque étude sélectionnée sera donc analysée de façon qualitative.

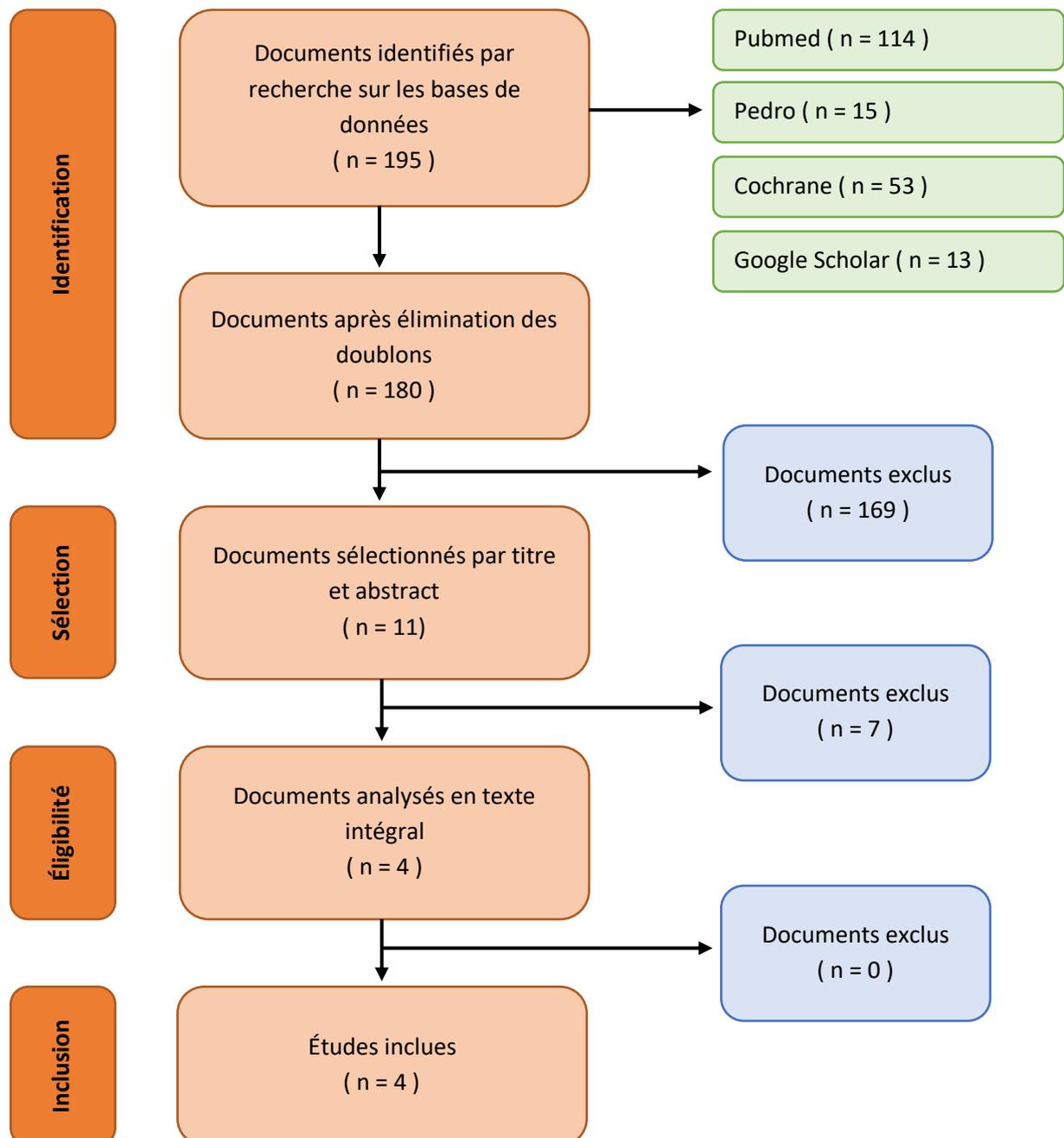
2.3 Conflits d'intérêts et financement

Je déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt et n'avoir reçu aucun financement pour la réalisation de cette revue.

3 Résultats

3.1 Sélection des études

3.1.1 Diagramme de flux



3.1.2 Études exclues

Étude	Motif d'exclusion
<i>Hoffman et al. (2018)</i> [65] « Can inspiratory muscle training improve weaning outcomes in difficult to wean patients ? »	Protocole dont l'essai clinique correspondant n'est pas disponible.
<i>Bisset et al. (2016)</i> [55] « Inspiratory muscle training to enhance recovery from mechanical ventilation : a randomised trial. »	L'EMI est démarré juste après le sevrage de la VM.
<i>Cader et al. (2012)</i> [66] « Extubation process in bed-ridden elderly intensive care patients receiving inspiratory muscle training : a randomized clinical trial. »	- Critère d'inclusion des patients : Population avec un âge > 70 ans - Score PEDro 6/10
<i>Cader et al. (2010)</i> [67] « Inspiratory muscle training improves maximal inspiratory pressure and may assist weaning in older intubated patients : a randomised trial. »	- Critère d'inclusion des patients : Population avec un âge > 70 ans - Score PEDro 6/10
<i>Bisset et al. (2007)</i> [68] « Inspiratory muscle training to enhance weaning from mechanical ventilation. »	- Design de l'étude : n'est pas un essai clinique randomisé.
<i>Caruso et al. (2005)</i> [52] « Inspiratory muscle training is ineffective in mechanically ventilated critically ill patients. »	- Date antérieure à 2010 - Score PEDro 4/10
<i>Martin et al. (2002)</i> [69] « Use of inspiratory muscle strength training to facilitate ventilator weaning. »	- Design de l'étude : n'est pas un essai clinique randomisé

Tableau 2 : liste des études exclues avec les motifs d'exclusion.

3.2 Études incluses

Sera réalisée une présentation de chaque étude incluse dans cette revue puis, sous forme de tableau par souci de visibilité, seront regroupés : les critères d'inclusion et d'exclusion de la population, les protocoles d'intervention et les comparateurs. Les études incluses dans cette revue sont :

- « Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients : a randomized trial » *Martin et al. (2011)*. [70]
- « Inspiratory muscle training did not accelerate weaning from mechanical ventilation but did improve tidal volume and maximal respiratory pressures : a randomized trial » *Condessa et al. (2013)*. [71]
- « Efficacy of respiratory muscle training in weaning of mechanical ventilation in patients with mechanical ventilation for 48 hours or more : a randomized controlled clinical trial » *Sandoval et al. (2019)*. [72]
- « Does mechanical Threshold inspiratory muscle training promote recovery and improve outcomes in ventilator-dependant ICU patients? The IMPROVE randomised trial » *Bisset et al. (2021)*. [73]

3.2.1 Martin et al. (2011)

Cet essai clinique randomisé mono-centré en groupes parallèles prend place dans l'unité de réanimation polyvalente (*médecine générale, post-chirurgie, grands-brûlés*) du Shands Hospital, en Floride (États-Unis). Il a été publié en anglais.

Le but de cette étude est de déterminer si le renforcement des muscles inspireurs améliore les chances de réussite du sevrage de la ventilation mécanique chez des patients identifiés en échec de sevrage (*FTW : failure-to-wean*). L'échec de sevrage se définit alors par un sevrage non atteint par la mise en œuvre des protocoles dits « classiques ».

Au total, 69 patients ont participé à l'étude, dont :

- 35 dans le groupe interventionnel ;
- 34 dans le groupe contrôle.

Les auteurs ont défini le sevrage réussi comme 72 heures consécutives sans assistance ventilatoire. Les patients étaient traités soit jusqu'à leur sevrage si la durée nécessaire à son obtention était inférieure à 28 jours, soit pendant 28 jours jusqu'à être considéré en échec de sevrage.

Les critères de jugements primaires étaient le sevrage de la ventilation mécanique et la PiMax.

Cet essai clinique se distingue par deux particularités.

La première consiste en l'utilisation, pour le groupe contrôle, d'un traitement fictif. Les autres études sélectionnées ont toutes pour comparateur des soins usuels de kinésithérapie. Ici, les auteurs ont décidé d'utiliser une valve de résistance inspiratoire de type Pflex® ouverte à son maximum. De plus, l'appareil était percé d'un trou de 3 mm ce qui diminuait encore la pression nécessaire pour générer un flux d'air.

La seconde particularité de cette étude est le matériel utilisé pour le renforcement des muscles inspireurs : les intervenants se sont rendu compte qu'en utilisant un Threshold IMT®, la majorité des patients n'arrivaient pas à effectuer l'exercice au niveau de pression le plus bas (8 cmH₂O). Ils ont donc décidé d'utiliser un Threshold PEP® qui peut faire office de renforcement inspiratoire si le patient inspire par l'orifice d'expiration. Ce dispositif permet un intervalle de pressions inspiratoires entre -4 et -20 cmH₂O.

Les auteurs concluent en admettant que le renforcement des muscles inspireurs est une technique adaptée, simple et sûre sur une population de patients en échec de sevrage sur le long terme. En effet, ils trouvent comme résultats une meilleure PiMax dans le groupe interventionnel par rapport au groupe contrôle, ainsi qu'un taux de sevrage réussi plus élevé.

3.2.2 Condessa et al. (2013)

Cet essai clinique randomisé mono-centré a été réalisé dans une unité de réanimation dans l'hôpital de Porto Alegre au Brésil comprenant 28 lits.

Le but de cette étude est de déterminer si le renforcement des muscles inspiratoires accélère le sevrage de la ventilation mécanique, améliore la force des muscles inspireurs, le volume courant et l'indice de respiration rapide superficielle (*rapid shallow breathing index - RSBI*).

Au total, 92 patients ont participé à l'étude :

- le groupe interventionnel comprend 45 patients ;
- le groupe contrôle comprend 47 patients.

Le critère de jugement primaire est la durée de sevrage de la ventilation mécanique.

Les critères de jugements secondaires sont : les évolutions de la force des muscles respirateurs, du volume courant et du RSBI.

Les intervenants étaient une équipe de 4 kinésithérapeutes travaillant en binôme.

L'appareil utilisé pour le renforcement était un Threshold IMT®.

Le renforcement des muscles inspireurs débutait lorsque les patients passaient d'un mode ventilatoire contrôlé à un mode spontané.

Avant de débuter la séance, le patient était placé en demi-assis à 45 degrés et ses constantes étaient prises pour s'assurer qu'il était stable. Le patient était considéré comme hémodynamiquement instable s'il présentait un ou plusieurs des critères suivants :

- FR > 30 cycles par minutes ;
- Saturation artérielle en oxygène (SaO₂) < 90 % ;
- Pression systolique > 180 mmHg ou < 90 mmHg ;
- Respiration paradoxale ; agitation ; tachycardie ; hémoptysie ; arythmie ; diaphorèse.

Les auteurs concluent que malgré une différence non significative concernant la période de sevrage de la VM, l'EMI pourrait être une méthode faisable et adéquate pour améliorer les critères de jugement qu'ils ont étudié.

3.2.3 Sandoval et al. (2019)

Cette étude est un essai clinique randomisé en groupes parallèles. Elle prend place dans une unité de réanimation de quatrième niveau dans la ville de Cali en Colombie. Elle a été publiée en anglais et en espagnol.

Le but de cette étude est d'évaluer l'efficacité du renforcement des muscles inspireurs dans le sevrage de la ventilation mécanique et sur la force des muscles inspireurs chez les patients ventilés depuis plus de 48 heures.

Au total, 126 patients ont été inclus dans cet essai clinique. Ils ont été divisés en deux sous-groupes contenant chacun un groupe interventionnel et un groupe contrôle :

- Patients atteints de sepsis : 69 patients :
 - o Groupe interventionnel : 34 patients ;
 - o Groupe contrôle : 35 patients.
- Patients non atteints de sepsis : 57 patients :
 - o Groupe interventionnel : 28 patients ;
 - o Groupe contrôle : 29 patients.

Le sepsis est défini comme « une infection associée à une dysfonction d'organe menaçant le pronostic vital provoquée par une réaction dérégulée de l'hôte à l'infection ». [5]

Les auteurs ont choisi de réaliser deux groupes distincts par rapport à l'influence que pourrait avoir le sepsis sur le sevrage de la ventilation mécanique et sur la force des muscles respirateurs. [74]

Le critère de jugement primaire est le sevrage de la ventilation mécanique.

Les critères de jugements secondaires sont : la force des muscles respiratoires ; la fréquence d'échecs de sevrage ; le besoin de recours à la VNI.

Les intervenants étaient une équipe de 4 kinésithérapeutes.

Pour l'intervention, les auteurs ont choisi d'utiliser un Threshold IMT®.

Dans cette étude, le sevrage de la ventilation mécanique était défini comme le temps entre le début de la mise en place de la ventilation spontanée avec une aide inspiratoire ≤ 10 cmH₂O jusqu'à l'extubation. L'échec de sevrage était défini comme le besoin de réintuber le patient ou le décès du patient dans les premières 48 heures post-extubation.

Les auteurs concluent que l'impact du renforcement des muscles inspireurs n'a pas montré de différence significative dans la durée du sevrage de la ventilation mécanique ou dans la force des muscles respiratoires. Également, aucune différence n'a été démontrée concernant la fréquence d'échecs de sevrage ou de recours à la VNI.

3.2.4 Bisset et al. (2021)

Le protocole de cette étude a été publié en amont en 2012.

Cette étude est un essai clinique randomisé mono-centré. Elle a été conduite dans une unité de réanimation polyvalente de 31 lits (traumas, post-chirurgie, etc.) de l'hôpital de Canberra en Australie, où sont appliqués des protocoles de sédation minimale et de réhabilitation précoce. Cet essai a été publié en anglais.

Le but de cette étude est d'évaluer l'impact du renforcement des muscles inspireurs sur la qualité de vie et la dyspnée des patients. De manière générale, l'objectif était de déterminer si cette technique constitue un gain de chances pour les patients sous ventilation mécanique depuis 7 jours ou plus.

Au total, 70 patients ont participé à l'étude dont :

- 33 patients dans le groupe interventionnel ;
- 37 patients dans le groupe contrôle.

Les critères de jugement primaires sont : la PiMax, la fatigue des muscles inspiratoires (évaluée par la Fatigue Resistance Index – FRI), la qualité de vie des patients (évaluée par le SF-36v2 et le EQ-5D-3L), la dyspnée (évaluée par l'échelle de Borg), les fonctions motrices (évaluées par la Acute Care Index of Function – ACIF).

Les critères de jugement secondaires incluent le besoin de réintubation, la durée de la ventilation mécanique, la durée de la ventilation en pression contrôlée, la durée du séjour en réanimation, le nombre de séances de renforcement menées, la durée du séjour hospitalier post-réanimation et la mortalité intra-hospitalière.

Les auteurs ont utilisé un Threshold IMT[®] avec une plage de résistance située entre 9 et 41 cmH₂O. Ils ont choisi d'utiliser un protocole de haute intensité-basses répétitions. Sur une série de 6 répétitions, il fallait que la résistance appliquée soit telle que le patient puisse tout juste réaliser la 6^{ème} inspiration. La résistance était ensuite augmentée entre les sets, toujours adaptée aux capacités du patient. L'entraînement démarrait suivant la randomisation et continuait jusqu'à une semaine suivant le sevrage réussi de la ventilation mécanique (défini ici comme une déventilation de 24 heures continues).

Les auteurs concluent que chez des patients hospitalisés en réanimation et sous ventilation mécanique depuis plus de 7 jours, suffisamment alertes et coopérants pour la rééducation, le renforcement des muscles inspireurs est susceptible d'améliorer la qualité de vie et la dyspnée. D'un autre côté, la force et l'endurance des muscles inspireurs n'a pas été clairement démontrée par cette approche de rééducation, et la durée de sevrage de la VM n'est pas forcément accélérée.

3.2.5 Critères d'inclusion et d'exclusion

Comme l'indique le tableau suivant, les critères de choix de la population sont nombreux. Cela s'explique par la gravité de l'état des patients admis en réanimation et une volonté d'exclure les cas les plus complexes dont les comorbidités sont trop importantes et constituent un biais considérable.

		Population	
		Inclusion	Exclusion
Martin (2011)	<p>Âgé de 18 ans ou plus ; PaO₂ > 60mmHg ; FiO₂ ≤ 0,5 ; PEP ≤ 10 cmH₂O ; AI ≤ 15 cmH₂O ; trachéotomisé sous VM.</p> <p>Cliniquement et hémodynamiquement stable, considéré comme prêt à être sevré. Absence de vasopresseurs ou à dose minimale (<i>dobutamine ou dopamine ≤ 5mcg/kg/min ou phényléphrine ≤ 1mcg/kg/min</i>).</p> <p>IMC < 40 kg/m² ; espérance de vie prévue d'au moins 12 mois ; T° comprise entre 36,5° et 38,5° ; incapacité de maintenir une VS de 72 heures consécutives ; suffisamment alerte pour participer.</p>	<p>Pathologie neuromusculaire progressive (SLA, SEP, etc.) ; lésion médullaire au-delà de T8 ; déformation osseuse thoracique ou vertébrale ; assistance respiratoire à domicile avant l'admission à l'hôpital ; besoin important de sédation ; sécrétions excessives ; transfert envisagé dans les 28 jours ; hémicoupoles diaphragmatiques mal positionnées.</p>	
Condessa (2013)	<p>18 ans ou plus, VM de plus de 48 heures dans un mode contrôlé et considéré prêt pour le sevrage : PEP entre 5 et 7cmH₂O ; AI entre 12 et 15 cmH₂O ; hémodynamiquement stable sans drogues vasoactives (<i>dopamine, dobutamine, norepinephrine</i>) ou sédatifs.</p>	<p>Hypotension (<i>PAS < 100 mmHG ou PAM < 70 mmHg</i>), sévère maladie intracrânienne, GCS < 11, barotraumatisme, trachéotomie, ou pathologie neuromusculaire.</p>	
Sandoval (2019)	<p>Âgé de 18 ans ou plus ; intubé ; sous VM depuis plus de 48 heures.</p> <p>PaO₂ ≥ 60mmHg ; FiO₂ ≤ 0,5 ; PEP ≤ 8 cmH₂O ; Score de RASS entre -1 et 0 ; Tension artérielle moyenne > 60mmHg avec l'absence de vasopresseurs ou à dose minimale (<i>dobutamine ou dopamine < 5µg/kg/min ou épinéphrine ≤ 1µg/kg/min</i>)</p>	<p>Pathologie neuromusculaire progressive ; lésion du système nerveux central ; lésion médullaire au-delà de T5 ; déformation osseuse thoracique ou vertébrale. Assistance respiratoire à domicile avant l'admission à l'hôpital, sécrétions excessives ; grossesse ; BMR (bactérie multi-résistante).</p>	
Bissett (2021)	<p>Ventilation invasive (intubé ou trachéotomisé) depuis au moins 7 jours, âgé d'au moins 16 ans et suffisamment alerte pour donner leur consentement et participer activement à l'entraînement : score à 4 sur l'échelle d'agitation-sédation de Riker [75] (cf. en Annexe 5)</p>	<p>VNI, refuse de participer ; grossesse ; douleur significative pouvant altérer les capacités respiratoires ; détresse respiratoire ; mort anticipée.</p>	

Tableau 3 : critères d'inclusion et d'exclusion de la population de chaque étude.

3.2.6 Intervention et comparateur

J'ai regroupé ces éléments sous forme de tableau pour pouvoir faciliter la comparaison des protocoles d'EMI, les résistances utilisées, les soins usuels, etc.

	Intervention	Comparateur
Martin 2011	Threshold PEP® à la pression la plus haute que le patient puisse tolérer, 4 séries de 6 à 10 répétitions, 2 minutes de repos entre chaque série (avec remise de la VM pendant le repos). 5 jours sur 7.	Une valve à seuil (Pflex®) ouverte au maximum. 4 séries de 6 à 10 répétitions, 2 minutes de repos entre chaque série (avec remise de la VM). 5 jours sur 7.
Condessa 2013	Threshold IMT® à 40% de la PiMax. 5 séries de 10 répétitions. 2 fois par jour, 7 jours sur 7. + les soins usuels.	Soins usuels : Mobilisations passives / actives-aidées des 4 membres, drainage bronchique (compressions thoraciques), positionnement et aspirations endo-trachéales.
Sandoval 2019	Initialement : Threshold IMT® à 50% de la PiMax (puis augmentation) 2 fois par jour, 7 jours sur 7. 3 séries de 6 à 10 répétitions. 2 minutes de repos entre les séries. + les soins usuels.	Soins usuels : Techniques de drainage bronchique, kinésithérapie motrice et gestion de la ventilation mécanique.
Bissett 2021	Threshold IMT® réglé à au moins 50% de la PiMax (la plus haute intensité tolérable). 5 séries de 6 répétitions. Entre les séries, le patient est remis sous respirateur pour se reposer 1 à 2 minutes. 5 jours sur 7. La séance dure moins de 10 minutes. + les soins usuels.	Soins usuels : Techniques de drainage bronchique (exemple : percussions, hyperinflations, aspirations endo-trachéales)

Tableau 4 : Interventions utilisées dans chaque étude ainsi que leur comparateur.

3.3 Risques de biais des études incluses

Conformément à la partie 2.2.5 de cette revue nous utiliserons l'échelle PEDro pour évaluer la qualité méthodologique des études sélectionnées.

Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Score final
Martin 2011	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	8/10
Condessa 2013	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	7/10
Sandoval 2019	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	8/10
Bissett 2021	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	7/10

Tableau 5 : Scores PEDro de chaque étude.

Le premier item n'est pas comptabilisé dans le score final. Il évalue la validité externe de l'étude.

- **Biais de sélection : items 2,3,4**

Aucune de nos études ne semble comporter ces biais de sélection : elles ont respecté la répartition aléatoire, l'assignation secrète et la similarité des groupes concernant les indicateurs pronostiques.

- **Biais de performance : items 5 et 6**

Aucune des études ne valide l'item 5 concernant la mise en aveugle des patients, compte tenu de l'intervention.

Martin et al. ont utilisé un traitement fictif et les patients n'avaient pas connaissance du groupe auquel ils étaient affiliés. Par ce procédé, l'étude bénéficie de certains avantages d'une mise en aveugle mais cela ne suffit pas à remplir l'item 5.

De même, il était impossible pour les thérapeutes, au vu de l'intervention, de réaliser les séances en aveugle. Par conséquent, l'item 6 n'est validé pour aucune des études.

- **Biais d'évaluation : item 7**

La mise en aveugle des évaluateurs a pu être respectée dans toutes les études incluses.

- **Biais de suivi : item 8**

Deux articles sont concernés par ce biais de suivi. Cela signifie que les mesures n'ont pas pu être obtenues pour au moins 85% des sujets initialement inclus dans l'étude :

- *Bisset 2021* : 78,6% des sujets initiaux ont été évalués avec 15 perdus de vue (7 décès ; 4 complications médicales ; 4 transferts)
- *Condessa 2013* : 83,6% des sujets initiaux ont été évalués, avec 15 perdus de vue (7 décès ; 2 trachéotomies ; 6 retournés en VAC)

- **Biais d'attrition : item 9**

Aucun article ne semble concerné par ce biais : toutes les analyses ont été faites en intention de traiter.

- **Biais d'interprétation : items 10 et 11**

Ces items évaluent les éléments statistiques qui permettent une interprétation suffisante des résultats dans les articles sélectionnés.

3.4 Effets de l'intervention sur les critères de jugement

L'objectif de cette revue de littérature est d'évaluer l'effet du renforcement des muscles inspirateurs :

- sur la durée de sevrage de la ventilation mécanique, qui est notre premier critère de jugement ;
- et sur l'évolution de la PiMax qui est notre second critère de jugement.

L'efficacité de notre traitement (l'EMI) sera représentée par la différence intergroupe.

Une analyse intergroupe sera donc réalisée pour chaque article avec un calcul de la taille d'effet (quand cela est possible).

La taille d'effet peut se définir comme l'estimation de l'effet d'un traitement.

Si elle est élevée, l'effet du traitement sera significatif. Pour estimer cet élément nous utiliserons l'intervalle de confiance à 95% qui s'avère être l'outil de référence. Il permet d'estimer l'effet du traitement s'il était appliqué à une plus grande population.

Concernant la taille d'effet considérée comme cliniquement significative, certaines études peuvent déterminer la MCID (Minimal Clinically Important Difference). Elle correspond à la valeur seuil à partir de laquelle on peut conclure à une différence significative entre le groupe témoin et le groupe interventionnel, donc dans un cas donné, à un effet du traitement étudié.

Un résultat peut être statistiquement significatif, avec p , le coefficient de signification, inférieur à 0,05, mais cliniquement non significatif.

Concernant les critères de jugement que nous étudions, aucune MCID n'a été établie pour le moment.

3.4.1 Effet du renforcement des muscles inspireurs sur la durée de sevrage de la ventilation mécanique

	Unité utilisée	Présence du p	Résultats après l'intervention	Taille de l'effet	Intervalle de confiance
Martin 2011	Jours	Oui	Groupe contrôle : 63,5 Groupe interventionnel : 57,3 $p = 0,46 > 0,05$ Non significatif.	La taille de l'effet serait de 6,2 mais le p est supérieur à 0,05 donc ce résultat a de grandes chances d'être dû au hasard.	Il n'a pas lieu d'être calculé car il serait statistiquement non significatif.
Condessa 2013	Heures	Non	Groupe contrôle : 61 Groupe interventionnel : 53	Malgré l'absence de p j'ai tout de même calculé la taille d'effet qui serait de 8.	IC 95% [-16 ; 32] L'intervalle de confiance croise la valeur 0 donc le résultat ne permet pas de conclure avec certitude sur la pertinence clinique.
Sandoval 2019	Heures	Oui	Groupe contrôle : 8,78 Groupe interventionnel : 9,36 $p = 0,84 > 0,05$ Non significatif.	Au vu du p largement supérieur à 0,05, la taille de l'effet n'est pas pertinente : elle serait de 0,58 ce qui est un effet presque nul et ce résultat a plus de chances d'être du hasard.	L'intervalle de confiance n'a pas lieu d'être calculé au vu des résultats non significatifs.
Bisset 2021	Jours	Oui	Les résultats sont sous forme de médiane. Groupe contrôle : 19 Groupe interventionnel : 21 $p = 0,57 > 0,05$ Non significatif.	Impossible à déterminer car les résultats pour ce critère sont sous forme de médianes et non de moyennes.	

Tableau 6 : Synthèse des résultats obtenus pour le critère de jugement principal.

3.4.2 Effet du renforcement des muscles inspirateurs sur l'évolution de la PiMax

	Moyen d'évaluation	Présence du p	Résultats après l'intervention	Taille de l'effet	Intervalle de confiance
Martin 2011	cmH ₂ O	Non	Groupe contrôle : -45,1 Groupe interventionnel : -54,1	9	IC 95 % [0,03 ; 17,97] Malgré le p manquant nous obtenons un intervalle de confiance qui ne croise pas la valeur 0 et la taille d'effet se situe au milieu de celui-ci. Ce résultat est cliniquement significatif.
Condessa 2013	ΔcmH ₂ O	Non	Groupe contrôle : -3 Groupe interventionnel : 7	10	IC 95 % [5 ; 15] Malgré le p manquant, l'intervalle de confiance obtenu ne croise pas la valeur 0 et la taille d'effet se situe au milieu de ce dernier. Ce résultat est cliniquement significatif.
Sandoval 2019	ΔcmH ₂ O	Oui	Groupe contrôle : 5,92 Groupe interventionnel : 9,43 $p = 0,48 > 0,05$ Non significatif.	Compte tenu du p, la taille de l'effet n'est pas pertinente et serait presque nulle.	Non pertinent car le p n'est pas statistiquement significatif.
Bisset 2021	ΔcmH ₂ O	Non	Groupe contrôle : 14,7 Groupe interventionnel : 11,4	3,3	IC 95% [-7,4-14,0] L'intervalle de confiance croise la valeur 0 donc le résultat ne permet pas de conclure avec certitude sur la pertinence clinique.

Tableau 7 : Synthèse des résultats sur le critère de jugement secondaire.

4 Discussion

Dans cette partie nous mettrons en lumière les points communs et les différences des études incluses. Nous analyserons également les biais que contiennent les essais cliniques, ainsi que ceux présents dans cette revue.

4.1 Analyse des principaux résultats

4.1.1 Analyse de la population

Martin et al. (2011)

En moyenne, les patients avaient 65 ans. Sur 69 patients, il y avait 38 femmes et 31 hommes.

Tous les patients inclus avaient des trachéotomies.

Ils étaient classifiés en échec de sevrage : approximativement, ils ont bénéficié de 6 semaines de ventilation mécanique avant de commencer l'intervention, ce qui n'est pas le cas dans les autres études où ce temps était beaucoup plus court (de 48 heures à 15 jours). Les auteurs ont décrit avec précision les comorbidités dont les patients étaient atteints à l'admission ainsi que les médicaments utilisés.

Condessa et al. (2013)

La moyenne d'âge était de 65 ans. Sur 98 patients, 51 étaient des hommes et 47 des femmes.

Les causes de détresse respiratoire ayant entraîné l'admission en réanimation concernent majoritairement : une exacerbation de BPCO (40 patients), une pneumopathie (21 patients), des causes liées à une immunodéficience (19 patients) et des suites post-chirurgicales (11 patients).

Sandoval et al. (2019)

La population de l'étude avait en moyenne 57 ans. Sur 123 personnes, il y avait 71 hommes et 55 femmes. Concernant le motif d'hospitalisation en réanimation, 93 avaient un diagnostic médical et les 33 restants correspondaient à des cas chirurgicaux. Les pathologies ayant donné lieu à l'admission en réanimation concernaient majoritairement le système pulmonaire et cardio-vasculaire. Cela semble important car un système pulmonaire défectueux pourrait avoir un impact sur l'efficacité de l'EMI.

Concernant la durée de la ventilation mécanique avant de démarrer l'intervention, elle était en moyenne de 86 heures (environ 3,6 jours).

En revanche, les groupes n'étaient pas de taille égale, avec 69 patients dans le groupe « atteint de sepsis » et de 57 patients dans le groupe « non atteint de sepsis ».

La population avait en moyenne 60 ans. Sur 70 patients, 41 étaient des hommes et 29 des femmes. Les diagnostics qui ont entraîné l'admission en réanimation sont très nombreux : septicémie (10%), pneumopathie (7%), polytraumatisés (8%), ainsi que des AVC, des problèmes cardiovasculaires, etc. Il y a eu une volonté des auteurs d'inclure une population hétérogène, précisé dans l'introduction de l'article (« *the objectives of our study (...) in a heterogeneous sample of ICU patients* »). Les deux groupes n'étaient pas de taille égale, avec 33 patients dans le groupe interventionnel et 37 patients dans le groupe contrôle.

Au total, nous bénéficions d'un échantillon total de 360 patients, 169 femmes et 191 hommes, d'une moyenne d'âge de 62 ans, qui correspond à l'âge moyen pour une hospitalisation. Mais la population se trouve être très hétérogène, même au sein des études.

Il est difficile de réaliser une étude mono-centrée sur un grand échantillon de patients en réanimation. En effet, ce sont des services avec relativement peu de lits, et les critères de gravité (qui deviennent des critères d'exclusion) sont considérables. Pour ces raisons, il est peu aisé d'avoir un échantillon homogène et large.

Les critères d'inclusion sont sensiblement similaires même si la complexité des pathologies en soins intensifs rend les critères très sélectifs afin d'avoir une population représentative possédant le moins de comorbidités possible. Pour certains critères, les études n'ont pas mentionné les mêmes échelles de mesure : *Condessa et al.* précisent un score de Glasgow, *Sandoval et al.* un score de RASS, et *Bisset et al.* l'échelle d'agitation-sédation de Riker. *Martin et al.* n'ont pas mentionné de critère d'inclusion relatif à l'évaluation quantitative de l'état de conscience, mais ils précisent la sédation minimale reçue et le fait que le patient doit être assez alerte et compliant pour participer.

Concernant les critères d'exclusion, toutes les études s'accordent pour exclure les pathologies neuromusculaires, les lésions médullaires et les patients avec un état de conscience altéré.

La durée de la VM varie considérablement entre les études, allant de 48 heures pour *Condessa et al.* à plus de 6 semaines pour *Martin et al.* Dans l'introduction nous avons montré qu'à partir de seulement quelques heures de VM, les changements de la physiologie respiratoire s'effectuent déjà ; au bout de 6 semaines, des lésions importantes affectent le patient, le faisant rentrer dans le cercle vicieux d'une VM prolongée qui rend le processus de sevrage très complexe.

Sandoval et al. ont décidé d'inclure une population atteinte de sepsis, ce qui n'est pas le cas pour les autres études qui ont, au contraire, exclu les patients qui en étaient atteints.

Un critère participe en particulier à l'hétérogénéité de la population : *Condessa et al.* ont exclu les patients trachéotomisés tandis que *Martin et al.* n'ont inclus que des patients trachéotomisés.

D'un autre côté, *Bisset et al.* ont fait le choix d'inclure des patients intubés et trachéotomisés pour exclure les biais potentiels d'une population trop restrictive.

Sandoval et al. n'ont mentionné les patients trachéotomisés que dans le diagramme de flux (« *prior tracheotomy (trachéotomie antérieure)* » dans les patients exclus) et dans les perdus de vue. Les patients inclus ne sont qu'intubés mais cela ne figure pas clairement dans les critères de choix de la population.

À l'heure actuelle il semble difficile de déterminer si l'intubation ou la trachéotomie joue un quelconque rôle dans la question clinique que nous nous posons. Mais il me semble pertinent de signifier que ce n'est pas la même approche. En effet, les patients intubés sont en général admis depuis moins longtemps en réanimation et la présence d'une trachéotomie suggère un (voire plusieurs) échec(s) de sevrage et un séjour allongé en soins intensifs.

4.1.2 Analyse des interventions

On constate une homogénéité du matériel utilisé : trois études ont choisi le Threshold IMT®, mais une étude se démarque en utilisant le Threshold PEP® (*Martin et al.*) qui correspond sensiblement au même exercice mais avec moins de résistance, pour les patients les plus faibles.

Les modalités de renforcement, quant à elles, sont très hétérogènes du fait d'une absence de standardisation. Conformément à la description des interventions, *Condessa et al.* ont utilisé le renforcement le plus intensif avec 5 séries de 10 répétitions à réaliser 2 fois par jour et 7 jours sur 7. S'en suivra de près le protocole de *Sandoval et al.* avec comme différence le nombre de séries qui sera de 3. Les protocoles de *Bisset et al.* et *Martin et al.* sont sensiblement similaires : respectivement 5 séries de 6 répétitions et 4 séries de 6 à 10 répétitions, 5 jours sur 7.

Rappelons que *Lesage et al.* [56] ont recommandé entre 3 et 6 séries de 6 à 10 répétitions, entre 30% de la PiMax et le maximum toléré par le patient.

Concernant la résistance appliquée initialement, *Bisset et al.* et *Sandoval et al.* ont décidé de travailler à 50% de la PiMax tandis que *Condessa et al.* à 40% de la PiMax et *Martin et al.* n'ont pas donné les mêmes indications, en précisant qu'ils utiliseraient la résistance la plus haute que le patient puisse réaliser.

4.1.3 Analyse des outils de mesure et des critères de jugement

4.1.3.1 La durée de sevrage de la ventilation mécanique

La mesure de ce critère de jugement est difficile à évaluer. En effet, comme précisé dans l'introduction de cette revue, les définitions du sevrage de la ventilation divergent.

De plus, certains auteurs prennent en compte toute la durée de la ventilation mécanique et non pas seulement la durée du dit « sevrage ». Avant l'intervention, sur toutes les études confondues, on retrouve une fourchette très large de temps sous ventilation mécanique, allant de 48 heures à plus de 6 semaines. Nous avons vu dans l'introduction que cela peut avoir des conséquences considérables sur la fonction diaphragmatique et les séquelles post-séjour sur tous les points.

Pour toutes ces raisons, il sera difficile de comparer les études par rapport à ce critère.

Martin et al. ont déterminé cette durée en nombre de jours. Les patients étaient sous VM avant l'intervention depuis 6 semaines en moyenne. Si au bout de 28 jours de traitement ils n'étaient pas sevrés alors les auteurs considéraient qu'ils étaient en échec de sevrage.

Condessa et al. définissent ce critère de jugement en heures et la durée moyenne de VM avant que l'intervention ne débute est de 48 heures.

Sandoval et al. ont déterminé la durée en nombre d'heures. La médiane de la durée de VM avant que l'intervention ne démarre est très hétérogène entre les deux groupes : 48 heures pour le groupe IMT et 69 heures pour le groupe contrôle.

Bisset et al. ont choisi une population ventilée depuis en moyenne 7 jours. Ils définissaient la durée de sevrage en nombre de jours.

4.1.3.2 L'évolution de la PiMax

Concernant les outils utilisés pour évaluer la PiMax :

Condessa et al. ainsi que *Martin et al.* ont utilisé la méthode validée par *Caruso et al.* en 1999 [76]. Cela consistait à utiliser un manomètre anéroïde, relié à un tube en T, lui-même relié d'une part à la trachéotomie ou à la sonde d'intubation et d'autre part à une valve unidirectionnelle expiratoire à faible résistance. Après une expiration maximale, la PiMax était enregistrée, avec l'extrémité libre du tube en T manuellement occluse, si elle était maintenue pendant au moins 1 seconde par le patient.

Bisset et al. et *Sandoval et al.* ont utilisé un manomètre portable de type MicroRPM Respiratory Pressure Meter® en accord avec la American Thoracic Society et la European Respiratory Society [77].

Ce sont deux méthodes validées et reproductibles.

4.1.4 Analyse des résultats

Toutes les études n'ont pas transmis le coefficient de signification p . Lorsque cela était possible, la taille d'effet et l'intervalle de confiance ont été calculés pour chacune des études, afin de déterminer la pertinence clinique, c'est-à-dire l'efficacité du traitement.

La taille d'effet est déterminée par la différence des moyennes post-traitement entre le groupe interventionnel et le groupe contrôle. Plus elle est éloignée de 0 et plus le traitement est efficace.

L'intervalle de confiance à 95% a été mesuré à l'aide d'un tableur où étaient insérés (lorsque ces données étaient transmises) les moyennes et les écarts-types post-traitement, ainsi que le nombre de participants dans chaque groupe. Cet intervalle, qui nous permet d'estimer l'efficacité réelle du traitement, ne doit pas contenir la valeur 0 pour être cliniquement significatif. Il doit également être le plus étroit possible.

Au vu de la difficulté de comparaison des résultats, ces derniers ont été présentés de façon individuelle, pour chaque étude, indépendamment des résultats des autres études.

4.1.4.1 Critère de jugement principal : la durée de sevrage de la ventilation mécanique

Martin et al. (2011)

Cet essai clinique avait pour but d'évaluer l'impact de l'EMI sur le sevrage de la VM sur une population en échec de sevrage. Les auteurs ont indiqué les résultats sous forme de moyenne avec les déviations standards (écart-type). La durée moyenne de la VM dans le groupe contrôle était de 63,5 jours et dans le groupe interventionnel, de 57,3 jours. Le p était indiqué et était égal à 0,46. Il est au-dessus de 0,05 et, de ce fait, les résultats obtenus ont de grandes chances d'être dus au hasard. La taille de l'effet et l'intervalle de confiance ne sont pas interprétables et nous ne pouvons pas conclure sur les résultats.

Condessa et al. (2013)

L'objectif de cette étude était d'évaluer si l'EMI pouvait diminuer la durée du sevrage de la VM, dès le passage en ventilation spontanée (et le patient considéré comme « prêt pour le sevrage »).

Les résultats pour ce critère de jugement étaient indiqués sous forme de moyennes avec leurs déviations standards (écart-type). Le p n'est malheureusement pas précisé dans l'étude.

La durée moyenne du sevrage du groupe contrôle était de 61 heures (2,5 jours) et celle du groupe interventionnel était de 53 heures (2,2 jours). La taille d'effet était de 8 et l'intervalle de confiance situé entre -16 et 32. Il passe par 0 et ne peut donc pas être significatif ou cliniquement pertinent.

Il est impossible de conclure sur ces résultats qui ne sont pas statistiquement significatifs.

Sandoval et al. (2019)

Cette étude avait pour objectif de déterminer le rôle de l'EMI sur la durée de sevrage de la VM, en heures, entre le passage en ventilation spontanée et la libération du ventilateur.

Les résultats étaient donnés en moyennes avec leurs déviations standards (écart-type) ce qui laissait la possibilité de calculer la taille de l'effet et l'intervalle de confiance à 95%.

Néanmoins, la moyenne de la durée de sevrage du groupe contrôle était de 8,78 heures (8 heures et 47 minutes) tandis que celle du groupe interventionnel était de 9,36 heures (9 heures et 21 minutes).

Le p était égal à 0,84. C'est largement supérieur à 0,05 ce qui signifie que ces résultats ont de grandes probabilités d'être dus au hasard. Pour cette raison, le calcul et l'interprétation de la taille d'effet n'est pas pertinente (elle serait quasiment nulle) et l'intervalle de confiance n'a pas lieu d'être calculé.

Au vu des résultats il est donc impossible de conclure.

Bisset et al. (2021)

Cette étude évaluait l'impact de l'EMI sur la durée de sevrage de la ventilation mécanique à l'aide du nombre de jours passés sous ventilation mécanique. Les résultats étaient donnés sous forme de médiane et excluaient donc les calculs possibles pour la taille de l'effet et l'intervalle de confiance.

La médiane du groupe contrôle était de 19 jours et la médiane du groupe interventionnel était de 21 jours. Le p était égal à 0,57.

Les résultats obtenus ont donc de grandes chances d'être dus au hasard car p est largement supérieur à 0,05.

Cette étude ne nous permet donc pas de conclure par rapport à ce critère de jugement.

Au total, aucun résultat des quatre études concernant ce critère de jugement ne nous permet de conclure sur un éventuel rôle de l'entraînement des muscles inspireurs sur la durée de sevrage de la ventilation mécanique.

De plus, au-delà des résultats non significatifs, nous pouvons difficilement comparer les données.

Toutes les études ne démarrent pas l'intervention au même moment et certaines comptabilisent le temps total de ventilation plutôt le temps de sevrage de la ventilation.

4.1.4.2 Critère de jugement secondaire : l'évolution de la pression inspiratoire maximale

Nos quatre études ont voulu déterminer et voire, quantifier, l'effet du renforcement des muscles inspireurs sur l'augmentation de la PiMax.

Martin et al. (2011)

Cette étude n'a pas transmis le coefficient de signification p pour ce critère de jugement. De même, elle n'a pas transmis les résultats sous la même forme que les autres études, qui les représentent sous forme d'évolution. Ici, on retrouve des moyennes pré et post-traitement, ce qui nous permet de retrouver une taille d'effet de 9 et un intervalle de confiance à 95 % situé entre 0,03 et 17,97. Cet intervalle ne croise pas la valeur 0 et nous permet de dire que les résultats sont cliniquement significatifs. Cependant, la borne basse étant très proche de 0, nous pouvons difficilement savoir si l'intervention aura un très faible effet ou un effet réellement pertinent sur le plan clinique. De plus, le p n'étant pas transmis, nous ne pouvons pas omettre la possibilité que, statistiquement, cette évolution soit due au hasard. Il est donc difficile d'en tirer une conclusion.

Condessa et al. (2013)

Cet essai n'a également pas transmis le p pour ce critère de jugement. On retrouve une évolution de la PiMax à -3 cmH₂O pour le groupe contrôle et 7 pour le groupe interventionnel. La taille de l'effet est de 10. Elle est située dans un intervalle de confiance allant de 5 à 15. Cet intervalle ne croise pas la valeur 0 et la taille de l'effet se situe au milieu de celui-ci. Ce résultat est donc cliniquement significatif malgré l'absence du p . Nous pouvons établir l'hypothèse que l'EMI améliore la PiMax, sans vraiment savoir si les résultats de cette étude ont de grandes chances d'être dus au hasard ou pas.

Sandoval et al. (2019)

Dans cette étude, on retrouve une évolution de la PiMax à 5,92 pour le groupe contrôle et à 9,43 pour le groupe interventionnel. Le p est indiqué et a une valeur de 0,48. C'est nettement supérieur à 0,05 ce qui indique que ces résultats ont de grandes chances d'être dus au hasard. La taille d'effet n'a donc pas lieu d'être calculée et l'intervalle de confiance n'est pas pertinent car nous avons des résultats non statistiquement significatifs. Nous ne pouvons encore une fois pas conclure par rapport à ce critère de jugement.

Cette étude n'a pas mis à disposition le p . Dans le groupe contrôle, l'évolution de la PiMax a été de 14,7 cmH₂O. Dans le groupe interventionnel, de 11,4 cmH₂O. La taille de l'effet a été de 3,3.

L'intervalle de confiance se trouve entre -7,4 et 14,0.

Ce dernier croise la valeur 0 et n'est donc cliniquement pas significatif. Nous ne pouvons pas conclure par rapport à ce critère de jugement.

Au total, 3 de nos 4 études n'indiquent pas le p pour ce critère de jugement. Malgré tout, deux résultats s'avèrent être cliniquement significatifs, mais nous ne savons pas s'ils sont dus au hasard ou pas. Il est, encore une fois, difficile de tirer une conclusion.

4.2 Applicabilité des résultats en pratique clinique

4.2.1 Le coût (pour le thérapeute et le patient)

Cette intervention nécessiterait l'acquisition de matériel dans les services de réanimation :

- Pour réaliser les séances d'EMI, un Threshold IMT[®]. Cela coûte *environ* 20 à 35 euros l'unité (une unité par patient).
- Pour être plus précis, un manomètre de pression de type microRPM[®] serait idéal. Évidemment il est possible de faire sans mais l'utilisation d'un manomètre permettrait de déceler les patients avec une PiMax faible et de noter les progrès au fil des séances. Un seul appareil par site semble envisageable, et il a un coût important (1200 à 1500 euros).

Selon les services, l'acquisition de ce matériel se fait à la demande du kinésithérapeute de réanimation, avec pour justification des éléments de la littérature actuelle.

4.2.2 L'applicabilité

Dans la mise en œuvre, cela reste une intervention faisable par un kinésithérapeute de réanimation. En dehors des contraintes matérielles, il sera nécessaire pour le kinésithérapeute de se familiariser avec le Threshold IMT[®] et le manomètre de pression si besoin avant toute intervention.

En termes pratiques, il faut savoir donner les bonnes consignes au patient et régler une résistance adaptée, mais cela semble aisément faisable pour un MKREA qui est régulièrement confronté à utiliser des outils de rééducation respiratoire (EzPAP[®], TheraPEP[®], spirométrie incitative inspiratoire...).

4.2.3 Balance bénéfiques / risques, effets secondaires ou indésirables

Même si nous n'avons pas réussi à montrer une efficacité probante sur les critères de jugements étudiés, aucune étude n'exclut cette technique et les auteurs restent favorables à son utilisation en réanimation.

Il semble évident qu'étant donné le cadre aigu et critique des patients en réanimation, quelle que soit l'intervention, celle-ci nécessitera une surveillance accrue. Lors d'une séance de renforcement des muscles inspiratoires, une supervision attentive devra être réalisée par le MKREA sur les constantes hémodynamiques et respiratoires. Si le patient objective un signe de détresse respiratoire, de mauvaise adaptation cardiovasculaire ou d'intolérance, il faudra cesser la séance.

L'EMI n'a pas démontré jusqu'à présent de risques particuliers spécifiques et ne semble pas être à l'origine d'effets secondaires spécifiques.

4.2.4 La population

Comme l'indique la littérature, il faudra envisager une population déjà considérée en échec de sevrage. Outre le fait que cette technique semble également faisable en post-extubation et donc envisageable en unités de soins continus (USC) souvent complémentaires aux services de réanimations, il faudra que le patient soit assez participant et compliant pour mener à bien une séance. Il faudra également qu'il soit en ventilé en VS sans pathologie neuromusculaire.

4.2.5 Contraintes potentielles

La contrainte principale, en dehors des contraintes matérielles, serait d'obtenir la compliance et la motivation du patient. En effet, la majorité des patients de réanimation sont sédatisés, douloureux et fatigables.

4.3 Qualité des preuves

Dans cette revue n'ont été inclus que des essais cliniques randomisés afin d'avoir un niveau de preuves satisfaisant. Pour autant, cela n'exclut pas les biais que nous allons détailler dans cette partie.

4.3.1 Risques de biais

Pour nous rendre compte des biais potentiels de cette revue nous devons d'abord prendre en compte les biais présents dans les études qui ont été incluses :

	Rappel du score PEDro	Biais présents
Martin 2011	8/10	Performance
Condessa 2013	7/10	Performance Suivi
Sandoval 2019	8/10	Performance
Bisset 2021	7/10	Performance Suivi

Tableau 8 : Rappel des scores PEDro et des biais présents dans chaque étude incluse

Toutes les études sélectionnées par cette revue ont une bonne qualité méthodologique.

Elles comprennent toutes un biais de performance, dû à l'impossibilité de la mise en aveugle du patient et du thérapeute pour cette intervention.

On constate un biais de suivi dans deux études (*Condessa et al.* et *Bisset et al.*) du fait que les mesures des résultats ont concerné moins de 85% des sujets initialement inclus (*cf. 3.3 Risque de biais des études incluses*).

4.3.2 Hétérogénéités

La qualité des preuves peut être altérée par des éléments hétérogènes entre les études, tels que la taille de la population, les différents critères d'inclusion et/ou d'exclusion, les interventions, etc.

Nous pouvons d'abord citer les différences concernant la population, avec des tailles d'échantillon différentes : 69, 70, 98 et 123 patients.

Une différence majeure citée précédemment est l'inclusion de patients uniquement trachéotomisés dans l'étude menée par *Martin et al.* et l'exclusion de ces patients dans l'étude menée par *Condessa et al.* De plus, les motifs d'admission en réanimation varient considérablement, puisque les études sont menées dans des services avec des spécialités différentes. Une autre différence que l'on peut citer est l'inclusion d'une population atteinte de sepsis seulement dans l'étude de *Sandoval et al.*

Il convient de dire que la population globale incluse dans cette revue est très hétérogène, ce qui rend difficile la détermination d'une population cible pour ce traitement.

Par ailleurs, il semble important de signaler que ces études ont toutes été réalisées dans un pays différent (Colombie, Australie, États-Unis, Brésil) avec donc une approche différente du soin et particulièrement de la kinésithérapie en réanimation. Cela traduit d'une hétérogénéité au niveau du traitement contrôle.

En effet, ce dernier est, le plus souvent, de la kinésithérapie conventionnelle, laquelle varie de manière considérable en fonction de la localisation et de la formation reçue.

Aux différences concernant le traitement contrôle, nous pouvons ajouter des différences concernant l'intervention et notamment le protocole de renforcement : *Condessa et al.* ont choisi le traitement le plus intensif, en opposition avec *Martin et al.* et *Bisset et al.*

Concernant les critères de jugements, on retrouve des hétérogénéités concernant la durée de la ventilation mécanique pré-intervention, mais également des différences de définitions de sevrage qui font que nous ne pouvons pas comparer les résultats obtenus.

Concernant l'évolution de la pression inspiratoire maximale, 3 de nos études l'ont mesurée en variation (c'est-à-dire les changements de PiMax ($\Delta\text{cmH}_2\text{O}$) survenus dans chaque groupe en post-intervention) tandis que *Martin et al.* ont choisi de présenter ce critère d'évolution sous forme de moyenne pré-traitement et moyenne post-traitement et donc nous ne pouvons pas comparer ces résultats à ceux des trois autres études.

4.3.3 Niveau de preuves

L'HAS indique que le niveau de preuves d'une étude se caractérise par la « capacité de l'étude à répondre à la question posée » [78]. Cette capacité est jugée sur plusieurs éléments :

- un protocole pertinent face à la question clinique ;
- la présence ou non de biais altérant la qualité méthodologique ;
- une analyse statistique adaptée ;
- la puissance de l'étude, reflétée en partie par la taille de l'échantillon.

Les études menées par *Bisset et al.*, *Condessa et al.* et *Martin et al.* semblent avoir un niveau de preuves intermédiaire : la puissance des effectifs est relativement faible, malgré leur qualité méthodologique haute.

L'étude menée par *Sandoval et al.* semble avoir un niveau de preuves fort : avec une qualité méthodologique haute, cette étude rassemble un échantillon relativement important et fournit une analyse statistique satisfaisante.

4.3.4 Grade des recommandations de la revue

La gradation de la revue de littérature permet d'estimer le niveau de preuve scientifique qu'elle fournit. [78]

Elle peut être de grade A, représentant une preuve scientifique établie ; de grade B, représentant une présomption scientifique ; ou de grade C, représentant un faible niveau de preuve scientifique. Le tableau, fourni par l'HAS, est disponible en **annexe 6**.

Conformément aux niveaux de preuves des études incluses dans cette revue, nous pouvons estimer que cette revue de littérature se classe au grade B, représentant une présomption scientifique.

4.3.5 Présentation des biais potentiels de cette revue

Nous allons utiliser une échelle de qualité méthodologique, AMSTAR-2 (A Measurement Tool to Access the methodological quality of systematic Reviews) [79] pour évaluer les biais potentiels de cette revue de littérature et avoir un avis global sur le niveau de preuves de cette dernière. Elle est disponible en **annexe 6** dans sa version française. [80]

La gradation ne se base pas sur un score final mais sur une appréciation des faiblesses de la revue dans des domaines dits « critiques ».

Item	Validation	Explication
1	✓	Les critères PICO ont bien été décrits et inclus dans les critères d'inclusion dans nos questions de recherches.
2	✗	Le protocole de cette revue n'a pas été publié et validé en amont.
3	✓	Les schémas d'études que nous voulions inclure (ou exclure) dans cette revue ont bien été décrits.
4	✓	Trois bases de données et un moteur de recherche ont été utilisés <i>ainsi que la mise en relation avec un auteur publiant sur le sujet.</i>
5	✗	Cette revue n'a pas été réalisée en double.
6	✗	Cette revue n'a pas été réalisée en double.
7	✓	Les études exclues ont été précisées et les raisons d'exclusion également.
8	✓	Pour chaque étude il a été fait une analyse complète avec la description détaillée de la population, des interventions, des comparateurs et des critères de jugement, ainsi que les designs et les analyses, les résultats, les conclusions.
9	✓	Les risques de biais intrinsèques aux études ont été analysés à l'aide de l'échelle PEDro.
10	✓	Les sources de financement des différentes études incluses ont été précisées, s'il y en avait.
11	/	Pas de méta-analyse n'a été réalisée.
12	/	Pas de méta-analyse n'a été réalisée.
13	✓	Les risques de biais des articles inclus ont été pris en compte dans notre discussion pour pouvoir modérer nos propos sur l'interprétation des résultats.
14	✓	Les hétérogénéités ont été décrites et expliquées dans la partie discussion.
15	/	Pas de synthèse quantitative n'a été réalisée.
16	✓	Les liens d'intérêt ont été déclarés.

✓ : item validé – ✗ : item non validé – / : item non pris en compte

Tableau 9 : évaluation de la qualité méthodologique de cette revue à l'aide de la grille AMSTAR-2

Concernant l'item 10, les sources de financements ont été déclarées par tous les articles inclus dans cette revue.

5 Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

Il est important de souligner que l'entraînement des muscles inspirateurs n'a pas amélioré les critères de jugement observés de manière statistiquement significative. Cependant, il n'a pas été démontré de détérioration générale ou de prolongation de la durée de sevrage.

La complexité du processus de sevrage ainsi que la prise en charge du patient en unité de réanimation rendent délicate l'interprétation de tels résultats. Il convient de supposer que l'EMI n'est pas une technique à exclure et qu'elle pourrait avoir toute sa place dans l'arsenal thérapeutique du MKREA.

Les kinésithérapeutes de réanimation, notamment en France, pourraient réfléchir à l'utilisation de l'EMI en particulier chez les patients au sevrage ventilatoire difficile. Cette technique supplémentaire dans la rééducation des patients en soins intensifs est sûre et sans risque apparent. Les deux éléments importants à considérer sont le faible coût et la facilité d'application.

5.2 Implication pour la recherche

Dans le domaine de la recherche, l'absence de preuve d'effet n'est pas une preuve d'absence.

Il existe actuellement encore trop peu de littérature concernant ce sujet complexe, dont les essais cliniques randomisés présentent une puissance trop faible.

Il serait intéressant de mener des études plus homogènes quant à la population choisie, bien que les patients hospitalisés en soins intensifs soient souvent atteints de nombreuses comorbidités.

De plus, la nécessité de standardiser l'EMI à l'aide d'un protocole de renforcement efficace et reproductible démontre bien l'importance d'autres essais cliniques à mener.

Cette revue apporte une analyse de l'étude de *Bisset et al.* confrontée à des études préexistantes depuis quelques années.

D'autres critères de jugement pourraient être pertinents à inclure dans les futurs essais cliniques : confronter l'EMI aux succès et échecs de sevrage, à la qualité de vie du patient, au besoin de réintubation, à la nécessité de recours à la VNI post-extubation, etc.

En conclusion, il est important d'encourager la poursuite des recherches sur le renforcement des muscles inspirateurs. Cette pratique, par sa facilité de mise en œuvre, pourrait aisément s'intégrer dans l'arsenal thérapeutique des kinésithérapeutes de réanimation et compléter la prise en charge proposée par ces derniers.

6 Bibliographie

- [1] Carpentier D, Beduneau G, Girault C. Séjour prolongé en réanimation. *Réanimation* 2015;24:379–88. <https://doi.org/10.1007/s13546-015-1089-8>.
- [2] SFAR. La réanimation et la surveillance continue n.d.
- [3] Comité de Coordination de la Réanimation. Référentiel de compétences et d'aptitudes du médecin réanimateur 2010.
- [4] Vazel L, Potard G, Martins-Carvalho C, LeGuyader M, Marchadour N, Marianowski R. Intubation : technique, indication, surveillance, complications 2003:13. [https://doi.org/10.1016/S1762-5688\(03\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S1762-5688(03)00007-1).
- [5] Collège national des enseignants d'anesthésie et de réanimation (CNEAR). Référentiel d'Anesthésie-réanimation et de médecine péri-opératoire. 2020.
- [6] Auroy Y, Toupin M-H, Morin S, Grenier C, Dahlet M, Loirat P, et al. Les critères prédictifs d'intubation difficile : étude de la traçabilité : à propos de l'analyse de 172803 dossiers d'anesthésie n.d.:9.
- [7] Demoule A, Girou E, Richard J-C, Taillé S, Brochard L. Increased use of noninvasive ventilation in French intensive care units. *Intensive Care Med* 2006;32:1747–55. <https://doi.org/10.1007/s00134-006-0229-z>.
- [8] Allouane L. La ventilation artificielle n.d.
- [9] Eghiaian A, Bazin J, Bourgain J, Combes X, Jaber S, Michelet P, et al. Socle de connaissances sur les respirateurs (réanimation et urgences) et les machines d'anesthésie n.d.:60.
- [10] Roch A, Mercier-IDE E. Le point sur la ventilation mécanique invasive — Principaux modes ventilatoires en ventilation mécanique invasive chez l'adulte. *Réanimation* 2011;20:530–4. <https://doi.org/10.1007/s13546-010-0026-4>.
- [11] Quintard H, l'Her E, Pottecher J, Adnet F, Constantin J-M, Dejong A, et al. Intubation et extubation du patient de réanimation. *Anesth Réanimation* 2018;4:523–47. <https://doi.org/10.1016/j.anrea.2018.08.004>.
- [12] Lambert P, Delorme N. Complications laryngées aiguës de l'intubation translaryngée : revue de la littérature n.d.:7.
- [13] Deby-Dupont G, Deby C, Lamy M. Données actuelles sur la toxicité de l'oxygène n.d.:12.
- [14] Comité technique des infections nosocomiales et des infections liées aux soins (CTINILS). Définition des infections associées aux soins 2007.
- [15] Chastre JE, Luyt C-E, Fagon J-Y. Chapter 46. Pneumonia in the Ventilator-Dependent Patient. In: Tobin MJ, editor. *Princ. Pract. Mech. Vent.* 3e, New York, NY: The McGraw-Hill Companies; 2013.
- [16] JL Trouillet. Société Française d'Anesthésie et de Réanimation : Les pneumopathies acquises sous ventilation mécanique 2009.
- [17] 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* 1995;152:137–41. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.152.1.7599812>.
- [18] Fagon JY, Ract C, Novara A. Prévention des pneumopathies acquises sous ventilation mécanique n.d.:10.
- [19] De Jonghe B. Paresis Acquired in the Intensive Care Unit A Prospective Multicenter Study. *JAMA* 2002;288:2859. <https://doi.org/10.1001/jama.288.22.2859>.

- [20] Sharshar T, Bastuji-Garin S, Stevens RD, Durand M-C, Malissin I, Rodriguez P, et al. Presence and severity of intensive care unit-acquired paresis at time of awakening are associated with increased intensive care unit and hospital mortality*: *Crit Care Med* 2009;37:3047–53. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181b027e9>.
- [21] Esteban A, Anzueto A, Alía I, Gordo F, Apezteguía C, Pálizas F, et al. How Is Mechanical Ventilation Employed in the Intensive Care Unit?: An International Utilization Review. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:1450–8. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.161.5.9902018>.
- [22] Béduneau G, Carpentier D, Girault C, Boyer D, Pham T. Sevrage de la ventilation mécanique : définitions et stratégies n.d.:12.
- [23] Bollaert P. Sevrage de la ventilation mécanique : définitions et épidémiologie. *Réanimation* 2001;10:706–11. [https://doi.org/10.1016/S1624-0693\(01\)00190-6](https://doi.org/10.1016/S1624-0693(01)00190-6).
- [24] Esteban A, Alia I, Ibañez J, Benito S, Tobin MJ. Modes of Mechanical Ventilation and Weaning. *Chest* 1994;106:1188–93. <https://doi.org/10.1378/chest.106.4.1188>.
- [25] Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 2007;29:1033–56. <https://doi.org/10.1183/09031936.00010206>.
- [26] 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* 2017;195:772–83. <https://doi.org/10.1164/rccm.201602-0320OC>.
- [27] 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;8:103. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0446-y>.
- [28] 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;8:115. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0461-z>.
- [29] Esteban A, Solsona JF. A Comparison of Four Methods of Weaning Patients from Mechanical Ventilation. *N Engl J Med* 1995;6.
- [30] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur : tête et tronc. vol. 3. 3e édition. Elsevier Masson; 2017.
- [31] Médrinal C. SRLF - Techniques kinésithérapiques pour sevrage difficile : renforcement des muscles respiratoires. 2018.
- [32] Georges M. Dysfonction diaphragmatique induite par la ventilation mécanique : physiopathologie et stratégies thérapeutiques d'avenir. *Rev Mal Respir Actual* 2013;5:659–64. [https://doi.org/10.1016/S1877-1203\(13\)70475-0](https://doi.org/10.1016/S1877-1203(13)70475-0).
- [33] Vassilakopoulos T, Petrof BJ. Ventilator-induced Diaphragmatic Dysfunction. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169:336–41. <https://doi.org/10.1164/rccm.200304-489CP>.
- [34] Fossé Q, Dres M. Dysfonction diaphragmatique en réanimation : physiopathologie, diagnostic et prise en charge. *Médecine Intensive Réanimation* 2020. <https://doi.org/10.37051/mir-00014>.
- [35] Demoule A, Molinari N, Jung B, Prodanovic H, Chanques G, Matecki S, et al. Patterns of diaphragm function in critically ill patients receiving prolonged mechanical ventilation: a prospective longitudinal study. *Ann Intensive Care* 2016;6:75. <https://doi.org/10.1186/s13613-016-0179-8>.

- [36] Shanely RA, Zergeroglu MA, Lennon SL, Sugiura T, Yimlamai T, Enns D, et al. Mechanical Ventilation–induced Diaphragmatic Atrophy Is Associated with Oxidative Injury and Increased Proteolytic Activity. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:1369–74. <https://doi.org/10.1164/rccm.200202-088OC>.
- [37] Zhu E, Sassoos CSH, Nelson R, Pham HT, Zhu L, Baker MJ, et al. Early effects of mechanical ventilation on isotonic contractile properties and MAF-box gene expression in the diaphragm. *J Appl Physiol* 2005;99:747–56. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00126.2005>.
- [38] Levine S, Budak MT, Sonnad S, Shrager JB. Rapid Disuse Atrophy of Diaphragm Fibers in Mechanically Ventilated Humans. *N Engl J Med* 2008;9.
- [39] 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;183:364–71. <https://doi.org/10.1164/rccm.201004-0670OC>.
- [40] Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. Diaphragm Dysfunction on Admission to the Intensive Care Unit. Prevalence, Risk Factors, and Prognostic Impact—A Prospective Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;188:213–9. <https://doi.org/10.1164/rccm.201209-1668OC>.
- [41] Code la santé publique : Masseur-kinésithérapeute (Articles R4321-1 - R4321-145) 2021.
- [42] Référentiel de compétences et d’aptitudes du masseur kinésithérapeute de réanimation (MKREA) en secteur adulte: Société de kinésithérapie de réanimation (SKR). *Réanimation* 2011;20:725–36. <https://doi.org/10.1007/s13546-011-0243-1>.
- [43] Fourrier F, Boiteau R, Charbonneau P, Drault J-N, Dray S, Farkas J-C, et al. Structures et organisation des unités de réanimation : 300 recommandations. *Réanimation* 2012;21:523–39. <https://doi.org/10.1007/s13546-012-0510-9>.
- [44] Bonnevie T. Entraînement en force des muscles inspireurs du patient ventilé — de la dysfonction diaphragmatique au sevrage de la ventilation mécanique. *Réanimation* 2013;22:439–46. <https://doi.org/10.1007/s13546-013-0694-7>.
- [45] Black LF, Hyatt RE. Maximal Respiratory Pressures: Normal Values and Relationship to Age and Sex n.d.:7.
- [46] Bissett B, Leditschke IA, Neeman T, Boots R, Paratz J. Weaned but weary: One third of adult intensive care patients mechanically ventilated for 7 days or more have impaired inspiratory muscle endurance after successful weaning. *Heart Lung* 2015;44:15–20. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2014.10.001>.
- [47] 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;35:2007–15. <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000281450.01881.d8>.
- [48] Bissett B, Gosselink R, van Haren FMP. Respiratory Muscle Rehabilitation in Patients with Prolonged Mechanical Ventilation: A Targeted Approach. *Crit Care* 2020;24:103. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-2783-0>.
- [49] Marini JJ, Rodriguez M, Lamb V. Bedside Estimation of the Inspiratory Work of Breathing during Mechanical Ventilation. *CHEST* 1986;8.
- [50] Aldrich T, Uhrlass R. Weaning from mechanical ventilation: successful use of modified inspiratory resistive training in muscular dystrophy. *Crit Care Med* 1987.
- [51] Aldrich TK, Karpel JP. Inspiratory Muscle Resistive Training in Respiratory Failure n.d.:2.

- [52] Caruso P, Denari SD, Ruiz SA, Bernal KG, Manfrin GM, Friedrich C, et al. Inspiratory muscle training is ineffective in mechanically ventilated critically ill patients. *Clinics* 2005;60. <https://doi.org/10.1590/S1807-59322005000600009>.
- [53] Bonnevie T, Villiot-Danger J-C, Gravier F-E, Dupuis J, Prieur G, Médrinal C. Inspiratory muscle training is used in some intensive care units, but many training methods have uncertain efficacy: a survey of French physiotherapists. *J Physiother* 2015;61:204–9. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.08.003>.
- [54] Gosselink R, Bott J, Johnson M, Dean E, Nava S, Norrenberg M, et al. Physiotherapy for adult patients with critical illness: recommendations of the European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients. *Intensive Care Med* 2008;34:1188–99. <https://doi.org/10.1007/s00134-008-1026-7>.
- [55] Bissett BM, Leditschke IA, Neeman T, Boots R, Paratz J. Inspiratory muscle training to enhance recovery from mechanical ventilation: a randomised trial. *Thorax* 2016;71:812–9. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208279>.
- [56] Lesage V, Gravier FE, Médrinal C, Bonnevie T. L'entraînement des muscles inspireurs : une stratégie efficace dans le sevrage de la ventilation mécanique. *Réanimation* 2016;25:92–9. <https://doi.org/10.1007/s13546-015-1129-4>.
- [57] Chanques G, Jaber S, Barbotte E, Verdier R, Henriette K. Validation de l'échelle de vigilance–agitation de Richmond traduite en langue française. 2006 Elsevier SAS 2006;Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation 25 (2006) 696–701:6. <https://doi.org/doi:10.1016/j.annfar.2006.02.017>.
- [58] Bissett B, Leditschke IA, Green M, Marzano V, Collins S, Van Haren F. Inspiratory muscle training for intensive care patients: A multidisciplinary practical guide for clinicians. *Aust Crit Care* 2019;32:249–55. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2018.06.001>.
- [59] Worrapphan S, Thammata A, Chittawatanarat K, Saokaew S, Kengkla K, Prasannarong M. Effects of Inspiratory Muscle Training and Early Mobilization on Weaning of Mechanical Ventilation: A Systematic Review and Network Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2020;101:2002–14. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.07.004>.
- [60] Aguilaniu B, Ouksel H, Desplan J, Gindre D, Grosbois J-M. Recommandations de la Société de Pneumologie de Langue Française sur la réhabilitation du malade atteint de BPCO. *Rev Mal Respir* 2005;22:15–6. [https://doi.org/10.1016/S0761-8425\(05\)85695-5](https://doi.org/10.1016/S0761-8425(05)85695-5).
- [61] HAS. Guide méthodologique : méthodes quantitatives pour évaluer les interventions visant à améliorer les pratiques 2007.
- [62] HAS. État des lieux : Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique 2013.
- [63] Bissett BM, Leditschke IA, Paratz JD, Boots RJ. Protocol: inspiratory muscle training for promoting recovery and outcomes in ventilated patients (IMPROVe): a randomised controlled trial. *BMJ Open* 2012;2:e000813. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-000813>.
- [64] Delphi V. Échelle PEDro – Français. *Epidemiol Clin*. n.d.:2010.
- [65] Hoffman M, Van Hollebeke M, Clerckx B, Muller J, Louvaris Z, Gosselink R, et al. Can inspiratory muscle training improve weaning outcomes in difficult to wean patients? A protocol for a randomised controlled trial (IMweant study). *BMJ Open* 2018;8:e021091. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021091>.
- [66] Samária Ali Cader S, Vale, Zamora, Costa, Dantas. Extubation process in bed-ridden elderly intensive care patients receiving inspiratory muscle training: a randomized clinical trial.

- Clin Interv Aging 2012;437. <https://doi.org/10.2147/CIA.S36937>.
- [67] Cader SA, de Vale RGS, Castro JC, Bacelar SC, Biehl C, Gomes MCV, et al. Inspiratory muscle training improves maximal inspiratory pressure and may assist weaning in older intubated patients: a randomised trial. *J Physiother* 2010;56:171–7. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(10\)70022-9](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(10)70022-9).
- [68] Bissett B, Leditschke IA. Inspiratory Muscle Training to Enhance Weaning from Mechanical Ventilation. *Anaesth Intensive Care* 2007;35:4.
- [69] Martin AD, Davenport PD, Franceschi AC, Harman E. Use of Inspiratory Muscle Strength Training to Facilitate Ventilator Weaning. *Chest* 2002;122:192–6. <https://doi.org/10.1378/chest.122.1.192>.
- [70] Martin AD, Smith BK, Davenport PD, Harman E, Gonzalez-Rothi RJ, Baz M, et al. Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients: a randomized trial. *Crit Care* 2011;15:R84. <https://doi.org/10.1186/cc10081>.
- [71] Condessa RL, Brauner JS, Saul AL, Baptista M, Silva ACT, Vieira SRR. Inspiratory muscle training did not accelerate weaning from mechanical ventilation but did improve tidal volume and maximal respiratory pressures: a randomised trial. *J Physiother* 2013;59:101–7. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(13\)70162-0](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(13)70162-0).
- [72] Sandoval Moreno LM, Casas Quiroga IC, Wilches Luna EC, García AF. Efficacy of respiratory muscle training in weaning of mechanical ventilation in patients with mechanical ventilation for 48 hours or more: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Med Intensiva Engl Ed* 2019;43:79–89. <https://doi.org/10.1016/j.medine.2018.12.004>.
- [73] Bissett B, Leditschke IA, Neeman T, Green M, Marzano V, Erwin K, et al. Does Mechanical Threshold Inspiratory Muscle Training Promote Recovery and Improve Outcomes in Ventilator-Dependent ICU Patients? The IMPROVE Randomised Trial. In Review; 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-850486/v1>.
- [74] Ortíz G, Dueñas C, Rodríguez F, Barrera L, De La Rosa G, Dennis R, et al. Epidemiología de la sepsis en unidades de cuidado intensivo en Colombia. *Biomédica* 2013;34:40. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i1.1439>.
- [75] Riker R, Picard J, Fraser G. Prospective evaluation of the Sedation-Agitation Scale for adult critically ill patients. *Crit Care Med* 1999;1325–9. <https://doi.org/10.1097/00003246-199907000-00022>.
- [76] Caruso P, Friedrich C, Denari SD, Ruiz SA, Deheinzeln D. The Unidirectional Valve Is the Best Method To Determine Maximal Inspiratory Pressure During Weaning. *Chest* 1999;115:1096–101. <https://doi.org/10.1378/chest.115.4.1096>.
- [77] ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:518–624. <https://doi.org/10.1164/rccm.166.4.518>.
- [78] Haute Autorité de Santé. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique : état des lieux 2013.
- [79] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both n.d.:9.
- [80] Pallot A, Rostagno S. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques. *Kinésithérapie Rev* 2021;21:13–4. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2019.12.050>.

7 Annexes

Annexe 1 - Score de Glasgow (Glasgow Coma Scale) [5]

Clinique	Score
Ouverture des yeux	
Spontanée	4
À l'appel	3
À la douleur	2
Aucune	1
Réponse motrice	
Obéit à l'ordre	6
Localise la douleur	5
Réaction d'évitement à la douleur adaptée	4
Flexion inadaptée	3
Extension	2
Aucune	1
Réponse verbale	
Claire et adaptée	5
Confuse	4
Incohérente mais compréhensible	3
Incompréhensible	2
Aucune	1

Annexe 2 - Classes de Mallampati et grades de Cormack [6]

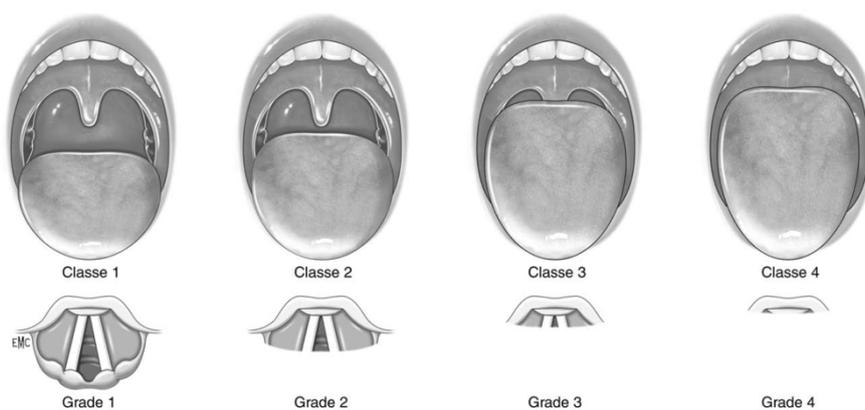


Figure 3 Classes de Mallampati (en haut) et grades de Cormack (en bas) : Classe 1 : toute la luette et les loges amygdaliennes sont visibles ; classe 2 : la luette est particulièrement visible ; classe 3 : le palais membraneux est visible ; classe 4 : seul le palais osseux est visible ; grade 1 : toute la fente glottique est vue ; grade 2 : seule la partie antérieure de la glotte est vue ; grade 3 : seule l'épiglotte est visible ; grade 4 : l'épiglotte n'est pas visible.

Annexe 3 - Score de RASS (Richmond Agitation Sedation Scale) [57]

+4	combatif	combatif, danger immédiat envers l'équipe.
+3	très agité	tire, arrache tuyaux et cathéters et/ou agressif envers l'équipe
+2	agité	mouvements fréquents sans but précis et/ou désadaptation au respirateur
+1	ne tient pas en place	anxieux ou craintif, mais mouvements orientés, peu fréquents, non vigoureux, non agressifs
0	éveillé et calme	
-1	somnolent	Pas complètement éveillé, mais reste éveillé avec contact visuel à l'appel (> 10 sec)
-2	diminution légère de la vigilance	Reste éveillé brièvement avec contact visuel à l'appel (< 10sec)
-3	diminution modérée de la vigilance	N'importe quel mouvement à l'appel (ex : ouverture des yeux) mais pas de contact visuel
-4	diminution profonde de la vigilance	Aucun mouvement à l'appel, n'importe quel mouvement à la stimulation physique (friction non nociceptive de l'épaule ou du sternum)
-5	non réveillable	Aucun mouvement, ni à l'appel, ni à la stimulation physique (friction non nociceptive de l'épaule ou du sternum)

Annexe 4 - Échelle PEDro [64]

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:

Annexe 5 – Échelle d'agitation-sédation de Riker [75]

Sedation–Agitation Scale (SAS)		
7	Dangerous agitation	Pulling at ET tube, trying to remove catheters, climbing over bed rail, striking at staff, thrashing side-to-side
6	Very agitated	Does not calm, despite frequent verbal reminding of limits; requires physical restraints, biting ET tube
5	Agitated	Anxious or mildly agitated, attempting to sit up, calms down to verbal instructions
4	Calm and cooperative	Calm, awakens easily, follows commands
3	Sedated	Difficult to arouse, awakens to verbal stimuli or gentle shaking but drifts off again, follows simple commands
2	Very sedated	Arouses to physical stimuli but does not communicate or follow commands, may move spontaneously
1	Unarousable	Minimal or no response to noxious stimuli, does not communicate or follow commands

Annexe 6 – Grade des recommandations par la HAS [78]

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins. Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Annexe 6 - Traduction française de l'échelle AMSTAR-2 [80]

Items	Cotation
1	Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?
2	Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?
3	Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?
4	Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?
5	Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?
6	Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?
7	Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?
8	Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?
9	Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?
10	Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?
11	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?
12	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?
13	Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?
14	Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?
15	S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?
16	Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?

Résumé :

Introduction : Il existe une corrélation étroite entre la durée de séjour en réanimation et une ventilation mécanique prolongée. Ainsi, optimiser le sevrage de cette ventilation est un véritable challenge pour les praticiens. L'entraînement des muscles inspireurs (EMI), pratique encore peu développée en soins intensifs, pourrait avoir un rôle important à jouer en venant compléter l'arsenal thérapeutique des kinésithérapeutes de réanimation.

Objectifs : Évaluer l'intérêt de l'EMI dans la durée de sevrage de la ventilation mécanique et dans l'évolution de la pression inspiratoire maximale chez les patients intubés et ventilés en réanimation.

Méthode : Élaboration d'une revue de littérature en sélectionnant des essais cliniques randomisés de la littérature actuelle avec des critères de sélection précis. Les recherches ont été effectuées d'août 2021 à janvier 2022 sur les bases de données PubMed, PEDro, GoogleScholar et Cochrane Library.

Résultats : Quatre essais cliniques randomisés ont été inclus dans cette étude. Les résultats concernant la durée de sevrage de la ventilation mécanique ne sont pas statistiquement significatifs pour les 4 études incluses. On retrouve des résultats plus nuancés concernant l'augmentation de la pression inspiratoire maximale qui atteint la pertinence clinique sur deux études malgré une omission du coefficient de signification p.

Conclusion : L'interprétation des résultats ne nous permet pas d'établir de conclusion précise sur la potentielle efficacité de l'EMI chez le patient intubé-ventilé, bien que cette technique soit reconnue comme faisable et sûre. Son efficacité sur les critères de jugements étudiés ici n'a pas été clairement démontrée et nécessiterait des études sur des échantillons plus larges et plus puissants, en intégrant d'autres critères.

Mots-clés : Entraînement des muscles inspireurs ; kinésithérapie respiratoire ; réanimation ; ventilation mécanique ; sevrage

Abstract :

Introduction: There is a close correlation between length of stay in intensive care and prolonged mechanical ventilation. Therefore, optimizing the weaning from mechanical ventilation is a real challenge for the medical team. Inspiratory muscle training (IMT), a practice that is still not very developed in intensive care, could have an important role to play in addition to the therapeutic arsenal of the intensive care physiotherapists.

Objectives: To evaluate the value of IMT in the duration of weaning from mechanical ventilation and in the evolution of maximal inspiratory pressure in intubated and ventilated patients in intensive care.

Methods: Development of a literature review by selecting randomized clinical trials from the current literature with specific selection criteria. Searches were conducted from August 2021 to January 2022 on the PubMed, PEDro, GoogleScholar and Cochrane Library databases.

Results: Four randomized clinical trials were included in this study. The results concerning the duration of weaning from mechanical ventilation were not statistically significant for the 4 included studies. Uncertain results were found concerning the increase in maximal inspiratory pressure, which reached clinical relevance in two studies despite an omission of the p significance coefficient.

Conclusion: The interpretation of the results does not allow to draw any clear conclusion about the potential effectiveness of IMT in the intubated-ventilated patient, although this technique is recognized as relevant and safe. Its effectiveness on the outcomes studied in this review has not been clearly demonstrated and would require studies with larger and more powerful samples, incorporating other outcomes.

Keywords: Inspiratory muscle training; intensive care unit; chest physiotherapy; mechanical ventilation; weaning