



HAL
open science

L'entraînement musculaire respiratoire chez les sujets tétraplégiques niveaux C4 A T1

Heidy Chavez Cerda Chevalier

► **To cite this version:**

Heidy Chavez Cerda Chevalier. L'entraînement musculaire respiratoire chez les sujets tétraplégiques niveaux C4 A T1. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03082006

HAL Id: dumas-03082006

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03082006>

Submitted on 18 Dec 2020

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**

**L'ENTRAÎNEMENT MUSCULAIRE
RESPIRATOIRE CHEZ LES SUJETS
TETRAPLEGIQUES NIVEAUX C4 A T1**

CHAVEZ CERDA CHEVALIER Heidy

Directeur de mémoire : M. François VACHEROT

Remerciements

Je souhaiterais dans un premier temps remercier Monsieur François Vacherot, pour son temps, son analyse, ses conseils et sa précieuse aide dans la rédaction de ce mémoire.

Je remercie aussi Martine Chevalier, qui m'a orienté et guidé grâce à ses précieuses relectures.

A mon mari, pour son amour et inconditionnel soutien, et pour l'énergie qu'il a mis dans ma reprise des études en France, afin de me permettre d'exercer de nouveau cette profession qui est ma passion, après trois années d'effort et d'investissement.

Je remercie Pierre-marie Chevalier aussi, pour son soutien et son appui dans la gestion de mon parcours étudiant.

Je remercie ma famille au Chili, dont l'appui et l'amour m'ont donné la force de continuer.

Liste des abréviations

ATS/ERS : American thoracic society et european respiratory society

CI : Capacité inspiratoire maximale

CPT : Capacité pulmonaire totale

CV : Capacité vitale

DEP : Débit expiratoire de pointe

DHD : Demolding health division

DPT : Débit de pointe expiratoire à la toux

ECR : Essai clinique randomisé

EFR : Epreuve de fonction respiratoire

EME: Entraînement musculaire expiratoire

EMI : Entraînement musculaire inspiratoire

EMR : Entraînement des muscles respiratoires

FIM : Force inspiratoire maximale

HN : Hyperpnée normocapnique

LME : Lésion de la moelle épinière

ME : Moelle épinière

PCF : *Peak cough flow*

PEM : Pression expiratoire maximale statique en bouche

PIM : Pression inspiratoire maximale statique en bouche

SD : Ecart type ou *standard deviation*

VEMS : Volume expiratoire maximal seconde

VR : Volume résiduel

VRE : Volume de réserve expiratoire

VVM: Ventilation volontaire maximale

Table des matières

Introduction	1
1.1 Contexte et intérêts.....	1
1.2 Rappels anatomiques et physiologiques	1
1.2.1 La moelle épinière	1
1.3 La lésion médullaire.....	3
1.3.1 Définition	3
1.3.2 Epidémiologie	3
1.3.3 Classification des blessés médullaires.....	3
1.3.4 Evolution et pronostique de la lésion médullaire	4
1.4 La fonction respiratoire et la tétraplégie.....	5
1.4.1 La respiration normale	5
1.4.2 La mécanique respiratoire chez le tétraplégique	6
1.4.3 Les changements dans la fonction pulmonaire	6
1.4.4 L'ineffectivité du mécanisme de la toux.....	6
1.5 L'évaluation de la toux et de la force musculaire respiratoire	7
1.5.1 L'efficacité de la toux.....	7
1.5.2 La force des muscles respiratoires	8
1.6 L'entraînement des muscles respiratoires	9
1.6.1 Les outils d'entraînement.....	9
1.6.2 Les protocoles	10
1.7 La problématique	11
1.8 Les objectifs de la revue de littérature.....	12
1.8.1 Question de recherche	12
2 Méthode	13
2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue.....	13
2.1.1 Critères d'inclusion.....	13
2.1.2 Critères d'exclusion	13
2.2 Méthodologie de la recherche des études	14
2.2.1 Sources documentaires investiguées.....	14
2.2.2 Equation de recherche utilisée	14
2.3 Extraction et analyse des données.....	14
2.3.1 Sélection des études.....	14
2.3.2 Extraction des données	14

2.3.3	Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées	14
2.3.4	Méthode de synthèse des résultats	15
2.4	Définitions	15
2.4.1	Force musculaire inspiratoire PIM	15
2.4.2	Force musculaire expiratoire PEM	15
2.4.3	Efficacité de la toux DPT	15
2.4.4	Les complications respiratoires	15
3	Résultats	16
3.1	Description des études	16
3.1.1	Diagramme de flux	16
3.1.2	Etudes exclues.....	16
3.1.3	Etudes incluses.....	17
3.2	Qualité méthodologique des études.....	20
3.2.1	Les principaux risques de biais.....	20
3.3	Effets des interventions	21
3.3.1	Force musculaire inspiratoire PIM	21
3.3.2	Force musculaire expiratoire PEM	23
3.3.3	Efficacité de la toux DPT	25
3.3.4	Complications respiratoires	26
4	Discussion	27
4.1	Analyse des principaux résultats.....	27
4.1.1	L'entraînement respiratoire le plus efficace	27
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique.....	30
4.2.1	La population cible	31
4.2.2	Applicabilité de l'évaluation des muscles inspiratoires et de la toux	31
4.2.3	Applicabilité de l'entraînement musculaire inspiratoire	31
4.2.4	Le seuil clinique	32
4.3	Qualité des preuves.....	32
4.4	Biais potentiels de la revue.....	33
4.4.1	Qualité méthodologique de la revue	33
5	Conclusion	35
5.1	Implication pour la pratique clinique	35
5.2	Implication pour la recherche	36
6	Références bibliographiques	37
	Annexes	

Introduction

1.1 Contexte et intérêts

La lésion de la moelle épinière (LME) est un état de santé complexe qui bouleverse profondément la vie, provoquant une importante altération fonctionnelle, psychologique et socioéconomique [1]. La prise en charge, pluridisciplinaire, a comme objectifs l'amélioration des capacités fonctionnelles, la diminution des morbidités secondaires et l'obtention de la meilleure qualité de vie possible associée à la santé [2].

Chez les sujet tétraplégiques, la faiblesse musculaire secondaire à la lésion affecte la fonction respiratoire et le mécanisme de la toux, entraînant des complications respiratoires qui constituent la plus importante cause de mortalité et morbidité en état aigüe et chronique [3].

Pendant mes années d'expérience professionnelle comme kinésithérapeute chilienne, j'ai eu l'opportunité de participer à la rééducation des patients tétraplégiques. J'ai pu constater que les maladies respiratoires induisaient un recul important dans l'évolution de la rééducation desdits patients, et que la mise en place de l'entraînement musculaire respiratoire (EMR) avec le système de valve à seuil était une stratégie très utilisée pour améliorer la force des muscles respiratoires chez les patients blessés médullaires.

Cependant, je n'ai jamais été, durant ces deux dernières années correspondant à mon intégration au sein du système de santé français, confrontée à la mise en place de ce type de traitement. Pour autant, l'entraînement des muscles respiratoires apparaît comme une stratégie thérapeutique facile, qui peut être effectué de façon indépendante par le patient et qui a de bons résultats sur certains paramètres de la fonction pulmonaire, sur la force des muscles respiratoires, sur la dyspnée et sur les complications respiratoires[4–8].

A ce jour, il existe différents protocoles et dispositifs permettant de réaliser l'EMR. Cependant, le type, l'intensité et le temps de traitement les plus efficaces restent encore peu clairs. Pour cette raison, dans le présent mémoire de fin d'étude, nous allons aborder les conséquences de la lésion médullaire sur la fonction respiratoire et sur le mécanisme de la toux. A travers une revue de littérature, nous allons essayer d'élucider quel type d'entraînement de muscles respiratoires est le plus efficace pour améliorer la force musculaire et l'efficacité de la toux chez les patients tétraplégiques entre C4 et T1.

1.2 Rappels anatomiques et physiologiques

1.2.1 La moelle épinière

La moelle épinière (ME) est une structure cylindrique du système nerveux central, responsable de la transmission des impulsions nerveuses entre l'encéphale et les nerfs périphériques.

Elle est située dans le canal vertébral et de celle-ci émergent des racines nerveuses qui forment les 31 paires de nerfs rachidiens : 8 cervicaux, 12 dorsaux, 5 lombaires, 5 sacrées et

1 coccygien. Elles conduisent l'information sensitive et motrice entre le corps et l'encéphale, ainsi que l'information du système nerveux autonome [9].

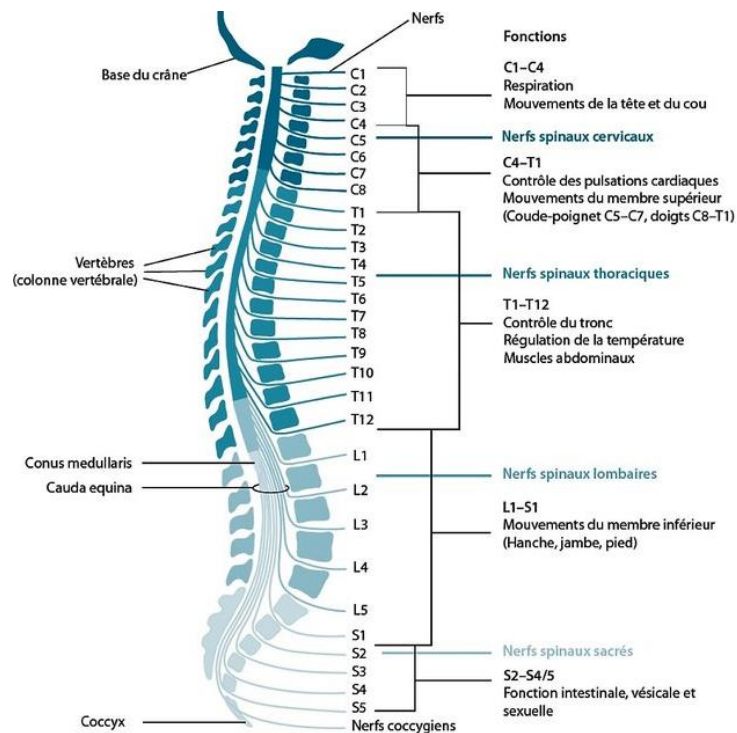


Figure 1. Organisation longitudinale de la moelle épinière (avec segments cervicaux, thoraciques et lombo-sacrés en zone ombrée) ; vertèbres et nerfs spinaux et brève représentation des principales fonctions de la moelle épinière [10].

Dans une coupe transversale, la ME présente un noyau interne de substance grise en forme de « H » qui renferme les corps cellulaires, entourée de substance blanche composée des axones myélinisés.

La substance grise est composée d'une corne antérieure de laquelle sortent les racines antérieures efférentes des nerfs rachidiens qui conduisent l'information motrice volontaire et assurent l'innervation des muscles squelettiques, et d'une corne postérieure vers laquelle les fibres sensibles afférentes apportent l'information extéroceptive, proprioceptive et intéroceptive des nerfs périphériques.

La substance blanche est une zone de passage formée par les fibres nerveuses ascendantes et descendantes groupées en faisceaux. Les fibres sensibles montent par les régions postérieures formant les voies ascendantes vers les centres supérieurs et les fibres motrices descendent par les voies descendantes antérolatérales vers les motoneurones [9].

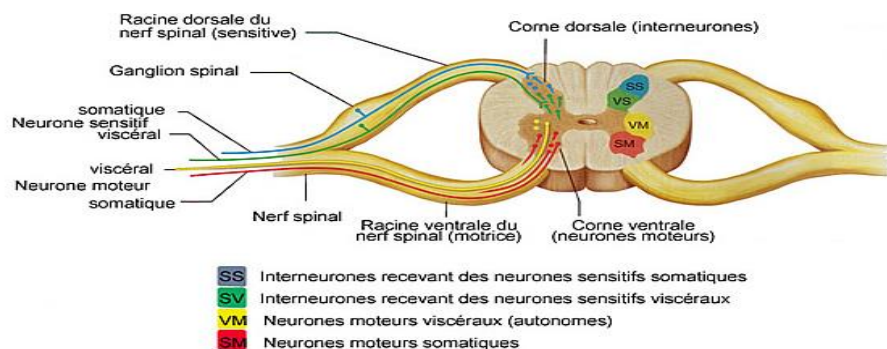


Figure 2. Schéma transversal de la moelle épinière [11].

1.3 La lésion médullaire

1.3.1 Définition

L'atteinte de la moelle épinière est une situation qui résulte d'un dommage ou d'un traumatisme du tissu nerveux de la colonne vertébrale avec des conséquences tant motrices que sensitives [12].

La lésion médullaire peut être de cause traumatique (résultat des accidents de la route, des accidents de travail, des accidents de sport ou de la violence), ou de cause non-traumatique (provoquée par des pathologies infectieuses, des tumeurs, des problèmes congénitaux, etc). [9].

Les symptômes de la lésion de la moelle épinière dépendent de l'étendue de la lésion ou de la cause et ils peuvent inclure la perte totale ou partielle du contrôle sensoriel ou moteur des membres inférieurs, du tronc et des membres supérieurs, ainsi que la perte du contrôle des fonctions de régulation autonome (involontaire) du corps. Cela peut affecter la respiration, le rythme cardiaque, la pression artérielle, le contrôle de la température, le contrôle des fonctions intestinales, de la vessie, de la fonction sexuelle[9] et dans 80% des cas, on peut trouver des douleurs chroniques[13].

Il est possible de différencier deux catégories de LME : la paraplégie et la tétraplégie.

La paraplégie est une atteinte des fonctions motrices et /ou sensitives des segments médullaires thoraciques, lombaires ou sacrés comprenant des déficits du tronc, des membres inférieurs et des organes pelviens [14].

La tétraplégie est un déficit des fonctions motrices et/ou sensitives des segments médullaires cervicaux et atteint tout ou partie des membres supérieurs, du tronc, des membres inférieurs et des organes pelviens [14].

1.3.2 Epidémiologie

En France on estime à 1200 le nombre de nouveaux cas de blessés médullaires par an, et la prévalence se situe autour de 50 000 personnes, dont 50% de tétraplégie [15,16]. Le point de blessure le plus fréquent est C5, suivi de C4 et C6 [2]. Les hommes sont 3 fois plus touchés que les femmes et 82% des cas ont moins de 40 ans [15].

Selon la Haute Autorité de Santé, les causes traumatiques sont responsables de plus de la moitié des étiologies. Les causes les plus courantes sont les accidents de la route suivis de la chute de hauteur.

Le risque de mortalité est maximal au cours de la première année suivant la survenue de la lésion et reste élevé par rapport au reste de la population. Les complications respiratoires sont la principale cause de mortalité [3,12,15].

1.3.3 Classification des blessés médullaires

Pour évaluer le niveau, et le caractère complet ou incomplet de la lésion médullaire, l'American Spinal Injury Association a créé en 1992 l'échelle « Score ASIA » qui permet de suivre l'évolution et le pronostic de l'atteinte (Annexe 1).

L'examen neurologique à travers le « score ASIA » évalue la sensibilité et la réponse motrice du patient pour chaque métamère de la moelle épinière (cervicales, thoraciques et lombosacrées).

La sensibilité est évaluée dans tous les dermatomes du corps et la réponse motrice est évaluée dans des muscles clés des membres supérieurs et inférieurs (cotation TMI), outre le contrôle volontaire et la sensibilité anale.

L'information est enregistrée dans une feuille standardisée et permet de déterminer le niveau moteur, le niveau sensitif et le niveau neurologique de la lésion.

Le niveau moteur est défini par le muscle clé le plus inférieur, coté au moins à 3 à condition que les muscles clés immédiatement supérieurs soient jugés normaux (cotation 4 ou 5).

Le niveau sensitif correspond au segment médullaire le plus bas ayant une fonction sensitive normale de façon bilatérale.

Le niveau neurologique est le niveau le plus bas avec la sensibilité normale conservée et une contraction musculaire au moins de 3 dans le TMI avec tous les muscles normaux au-dessus de la lésion, dans les deux côtés du corps.

Le caractère complet ou incomplet de la lésion est déterminé par une fonction motrice et sensitive indemne dans les derniers segments sacrés S4 et S5 qui est évaluée par la pression et la contraction anale.

Finalement, le score ASIA a une cotation déterminant le degré de déficience à travers le « ASIA impairments state » AIS, résumé dans le tableau 1. D'un point de vue moteur, les lésions ASIA A et B correspondent à une paralysie musculaire totale en dessous du niveau d'atteinte, et les lésions ASIA C se traduisent par une importante faiblesse musculaire[17].

Tableau 1. Degré de déficience AIS du score ASIA.

AIS	Caractéristiques
A Complète	Aucune fonction motrice ni sensitive dans les derniers segments sacrés (S4-S5)
B Incomplète	La fonction sensitive, mais pas la fonction motrice, est préservée en dessous du niveau neurologique et inclut les segments sacrés S4 – S5
C Incomplète	La fonction motrice est préservée en dessous du niveau neurologique et plus de la moitié des muscles clés en dessous de ce niveau ont une cotation < 3
D Incomplète	La fonction motrice est préservée en dessous du niveau neurologique et au moins la moitié des muscles clés en dessous de ce niveau ont une cotation > ou = 3
E Normale	Les fonctions motrice et sensitive sont normales

1.3.4 Evolution et pronostique de la lésion médullaire

Suite à une lésion aiguë et intense de la moelle épinière, la phase initiale ou de « choc spinal » se caractérise par une perte motrice et sensitive bilatérale, et une abolition de tous les réflexes au-dessous de la lésion médullaire, même pour les fonctions autonomes. Cette phase est la plus risquée pour la vie du patient. Elle est transitoire jusqu'à l'installation de la phase « d'automatisme médullaire », laquelle est caractérisée par la récupération des arcs réflexes autonomes. Dans cette phase, le contrôle central des réflexes est absent, on observe des exagérations des réflexes comme la spasticité, et il est possible de déterminer le niveau de lésion sensitive et motrice. Finalement, on arrive à la « phase de chronicité », où selon le type de lésion, les altérations trouvées dans la phase précédente se stabilisent [2].

Le pronostic de la récupération neurologique est arrêté dans les deux premiers mois suivant la lésion, bien qu'elle puisse se prolonger durant la première année. Chez les patients atteints de lésion complète (ASIA A), la probabilité de récupération neurologique totale est très basse [2].

1.4 La fonction respiratoire et la tétraplégie

1.4.1 La respiration normale

Le rôle principal du système respiratoire est d'assurer les échanges gazeux de l'organisme, à travers la constante entrée et sortie d'un flux d'air entre les poumons et l'environnement extérieur, en permettant une oxygénation adéquate des tissus et une correcte élimination du dioxyde de carbone. Ce passage d'air résulte de l'action des forces externes, actives et passives, qui agissent sur la cage thoracique, sur les poumons et sur les voies aériennes.

La physiologie de la fonction respiratoire implique une phase inspiratoire active résultant de la contraction musculaire, et une phase d'expiration passive produite par la libération de l'énergie élastique de la composante élastique des poumons et de la paroi thoracique (compliance).

Les muscles de la respiration, inspiratoires et expiratoires, sont innervés par des racines nerveuses provenant des segments médullaires cervicaux, thoraciques et lombaires entre C1 et L3. Dans la figure 3 s'expose le schéma de Schilero et al. avec les principaux muscles, ses racines et sa fonction respiratoire [18].

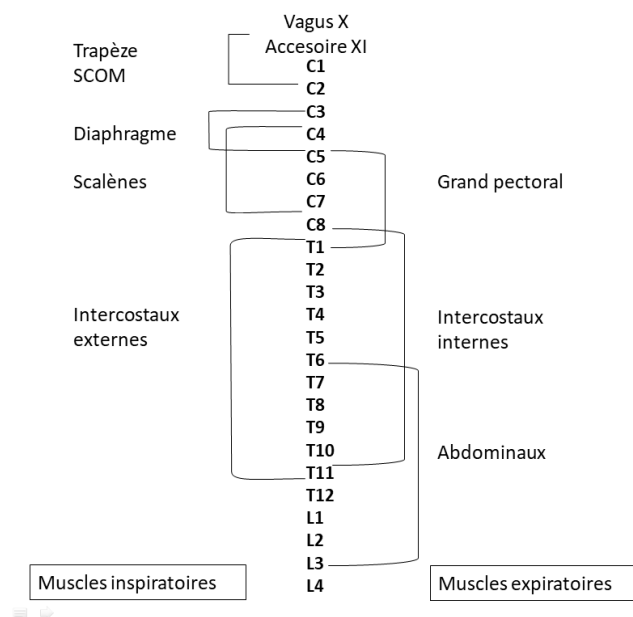


Figure 3. Diagramme des niveaux d'innervation des muscles respiratoires. Schilero et al 2009 [18].

Lors d'une respiration normale, la contraction du diaphragme, principal muscle de l'inspiration accompagné par les intercostaux externes, augmente le diamètre vertical et antéro-postérieur de la cage thoracique, provoquant une augmentation de la pression négative intra-thoracique et intra-pulmonaire en permettant l'entrée de l'air aux alvéoles, structure dans laquelle l'échange gazeux est produit [18]. Les muscles inspireurs

accessoires (les scalènes, les trapèzes et les sterno-cléido-mastoïdien) participent lors de l'activité physique.

Bien que l'expiration soit un mécanisme passif, les abdominaux, les intercostaux internes et les pectoraux, dits les muscles de l'expiration, jouent un rôle important dans la réponse adaptative à l'exercice, dans l'expiration forcée et dans le mécanisme de la toux.

1.4.2 La mécanique respiratoire chez le tétraplégique

Une lésion au niveau des segments médullaires cervicaux va provoquer une dysfonction des muscles respiratoires, entraînant des complications pulmonaires soit en phase aiguë de la lésion, soit en phase de chronicité, phase dans laquelle on trouve des modifications secondaires dans la cage thoracique et dans le poumon [3,19,20].

La tétraplégie haute, entre C1 et C3, produit une paralysie de tous les muscles respiratoires impliquant la dépendance d'une ventilation assistée permanente et d'une trachéotomie [21].

La tétraplégie basse, entre C4 et T1, conserve le diaphragme et partiellement les scalènes et pectoraux. Le patient sera autonome sur le plan respiratoire, mais conserve une paralysie des muscles expirateurs.

La force des muscles respiratoires inspiratoires et expiratoires est réduite dans la tétraplégie en comparaison avec des individus sains. La force des muscles inspiratoires est supérieure à la force des muscles expiratoires, ceci est dû à l'atteinte majeure des muscles expiratoires lors de la lésion médullaire cervicale [18].

1.4.3 Les changements dans la fonction pulmonaire

L'atteinte des muscles respiratoires chez le tétraplégique génère un déficit de la pompe ventilatoire, en diminuant les flux respiratoires et en installant un syndrome restrictif.

A long terme, l'enraidissement de la cage thoracique, les infections respiratoires et les micro-atélectasies répétées modifient le parenchyme pulmonaire, notamment dans les zones les plus basses du poumon, en diminuant les propriétés élastiques et en conséquence la compliance pulmonaire et thoracique, tout en aggravant le syndrome restrictif majeur déjà installé [18,19].

Dans les épreuves de fonction respiratoire (EFR), on trouve une diminution significative de la capacité vitale (CV), du volume expiratoire maximal seconde (VEMS), du débit expiratoire de pointe (DEP), de la capacité pulmonaire totale (CPT), et du volume de réserve expiratoire (VRE)[18,20].

Plus le niveau de blessure est élevé, plus les paramètres de la fonction pulmonaire sont significativement réduits, à l'exception du volume résiduel (VR) qui se trouve augmenté, aggravant ainsi le syndrome restrictif [18,19,21].

1.4.4 L'ineffectivité du mécanisme de la toux

La toux est un réflexe naturel de protection de la voie aérienne qui remplit deux fonctions fondamentales : garder les voies respiratoires sans éléments étrangers et expulser les excès

de sécrétions produites en conditions pathologiques [22]. Bien que la toux soit un réflexe, il est possible de la déclencher volontairement soit par l'individu, soit par un kinésithérapeute, ce qui nous permet de l'utiliser comme une stratégie thérapeutique.

Classiquement, la littérature décrit trois phases de la toux [23] :

- La phase inspiratoire qui requiert une inspiration profonde,
- La phase compressive grâce à la contraction de muscle abdominal simultanée à une fermeture glottique,
- La phase expulsive avec la sortie de l'air au débit le plus rapide possible.

La phase la plus importante de la toux, qui détermine son efficacité, est la phase inspiratoire, et les facteurs qui l'influencent le plus sont la capacité vitale, la capacité d'inspiration maximale (CI) et la force des muscles inspiratoires (PIM) [24,25].

Chez les individus tétraplégiques, l'effectivité de la toux est réduite. Ceci est dû à l'insuffisance des muscles inspiratoires qui empêche de faire une inspiration profonde et à l'insuffisance des muscles expiratoires qui augmente la compliance abdominale et empêchent de préparer la phase compressive et expulsive [14].

La diminution de la force de la toux est associée au niveau de la lésion médullaire. Les sujets avec des lésions médullaires plus hautes mobilisent moins de flux d'air pendant la toux [26].

Quand la force de la toux est diminuée, les sécrétions des voies aériennes ne sont pas éliminées. Cette diminution de la clearance prédispose aux complications respiratoires comme les atélectasies et les pneumopathies. Récemment, la littérature a décrit que les troubles respiratoires s'intensifient à cause d'une hyperréactivité et d'une obstruction bronchique dues à la dénervation sympathique chez les tétraplégiques [19].

1.5 L'évaluation de la toux et de la force musculaire respiratoire

1.5.1 L'efficacité de la toux

L'évaluation de l'efficacité de la toux est faite, le plus souvent, par le débit de pointe à la toux (DPT) ou *peak cough flow PCF* [27], défini comme la vitesse maximale à laquelle les sécrétions peuvent être expulsées des voies aériennes en L/min [23,28,29]

Le DPT peut être mesuré à l'aide d'un embout buccal ou d'un masque nasobuccal connecté à un pneumotachographe ou un débitmètre. Les sujets en position assise sont tenus de réaliser une inspiration maximale et de tousser. La manœuvre se répète de 3 à 6 fois, et la valeur la plus haute est enregistrée, sous réserve que les trois mesures aient un maximum de 20% de différence [29].

Le DPT est très utilisé chez les patients atteints de maladies neuromusculaires. En conditions normales le flux d'air mobilisé doit être au moins 360 L/min. La littérature décrit que pour un DPT inférieur à 160 L/min, la toux est inefficace pour l'élimination des sécrétions et qu'une valeur inférieure à 270 L/min est associée au développement des complications respiratoires (évaluations réalisées avec un débitmètre) [22,23,27,29,30].

Cependant, il est possible de trouver des différences entre les mesures effectuées par un pneumotachographe et par un débitmètre. Ces différences sont comprises entre 66 L/min et 338 L/min [27].

Il existe d'autres techniques d'évaluation moins utilisées comme la pression de pointe à la toux, mais il n'existe pas de valeurs de référence.

1.5.2 La force des muscles respiratoires

1.5.2.1 *La pression inspiratoire maximale et pression expiratoire maximale*

La force des muscles inspiratoires est évaluée à travers la pression statique inspiratoire maximale (PIM), et la force des muscles expiratoires à travers la pression statique expiratoire maximale (PEM) [29,31].

La méthodologie proposée par l'American Thoracic Society et l'European Respiratory Society (ATS/ERS) par rapport à la PIM et PEM évaluées au niveau de la bouche, suggère que le patient soit assis et porte une pince nasale. Un embout buccal lié à une valvule unidirectionnelle est mis dans la bouche. La valvule est connectée au manomètre, et le chercheur donne les consignes au sujet.

Pour la PIM, le sujet doit commencer du volume résiduel, puis inspirer le plus fort possible et maintenir contre-résistance (valvule unidirectionnelle bloquée). La pression maximale est enregistrée pendant 1 seconde.

Pour obtenir la PEM, le sujet doit commencer de la capacité pulmonaire totale, puis souffler le plus fort possible contre-résistance (valvule unidirectionnelle bloquée) pendant au moins 1 seconde.

Trois mesures sont nécessaires, et la plus haute est enregistrée, sous réserve que les trois mesures aient un maximum de 20% de différence.

Des difficultés et des variations dans la technique sont décrites, raison pour laquelle l'interprétation des résultats peut être problématique, outre le fait que les valeurs de référence varient selon l'âge et le sexe (Annexe 2). Cependant une PIM de $-80\text{cm H}_2\text{O}$ exclut cliniquement une faiblesse musculaire inspiratoire [31].

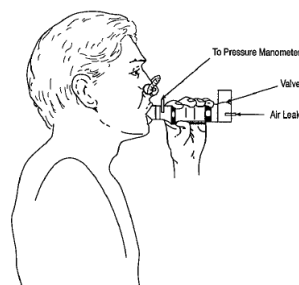


Figure 4. Mesure de la PIM. ATS/ERS [20].

1.5.2.2 *Le sniff test*

La pression inspiratoire lors du reniflement maximal SNIP (sniff-test) reflète la pression intrathoracique produite par les muscles inspiratoires. Son enregistrement est réalisé à l'aide du même appareil utilisé pour la PIM et PEM, mais il est nécessaire de placer un tampon dans l'une des narines du sujet, l'autre restant perméable.

L'avantage de cette manœuvre est qu'elle est plus physiologique que la PIM mais elle est limitée dans le cas d'une obstruction nasale bilatérale sévère.

Les valeurs de SNIP supérieures à 60 cmH₂O chez la femme et 70 cmH₂O chez l'homme permettent d'exclure cliniquement une faiblesse musculaire inspiratoire [31].

1.6 L'entraînement des muscles respiratoires

Les patients tétraplégiques ont des altérations de la force des muscles inspiratoires et expiratoires. Pour cette raison, il est possible d'envisager un entraînement de la force musculaire respiratoire qui serait aussi utilisé sur différentes populations (BPCO, maladies neuro musculaires) afin de traiter la fatigue et améliorer la tolérance à l'exercice [32].

L'utilisation de ce type de traitement est basée sur les effets que l'entraînement musculaire a sur les autres muscles squelettiques, pour lesquels la force augmente quand les muscles sont exposés à des programmes d'entraînement.

L'EMR suit les principes de la plasticité. Cette dernière suggère que lors de l'entraînement, les adaptations neurologiques soient les premières à apparaître, puis suivent les adaptations au niveau de la fibre musculaire dès la 5^{ème} semaine d'entraînement. La plasticité dépend de l'expérience : la continuité de la tâche dans le temps, la répétition, la spécificité, et l'intensité suffisante sont entre autres nécessaires [32,33].

Il existe différents types d'EMR : l'entraînement musculaire inspiratoire EMI, l'entraînement musculaire expiratoire EME, ou l'EMR inspiratoire et expiratoire concomitamment.

1.6.1 Les outils d'entraînement

Il existe différentes catégories d'appareils, répondant à un objectif destiné au renforcement musculaire ou à l'endurance.

1.6.1.1 Les dispositifs de renforcement musculaire respiratoire.

Afin d'augmenter la force, le muscle est soumis à une charge externe, similaire à soulever un poids. On trouve, selon la façon dont la charge est générée [34,35] :

Des outils de résistance passive au débit

La charge est déterminée par un orifice de diamètre variable préalablement sélectionné, de sorte que pour un débit donné, plus l'orifice est étroit, plus la charge résistive est grande. On trouve par exemple les outils Pflex[®] de Respironics ou l'IMT DHD[®] de Demolding Health Division (DHD) [34].

Des outils de résistance au débit à réglage dynamique

Le mécanisme de ces dispositifs permet des ajustements continus et dynamiques de la résistance au débit. Ces ajustements permettent que la surface de l'orifice varie pendant la respiration. La charge de travail peut être modifiée soit par la pression, soit par le débit respiré. On a comme exemple le Powerbreathe[®] K-Series [34].

Des outils de valve au seuil de pression

Ces appareils obligent les sujets à produire une pression respiratoire (inspiratoire ou expiratoire) suffisante pour surmonter une charge de pression, et ainsi initier la respiration. Les seuils permettent un changement à une intensité quantifiable et variable, en fournissant une résistance au passage de l'air indépendante du débit. Par exemple le Respifit-S® de Bieglér, le Threshold IMT® ou Threshold PEP de Respironics, ou le Powerbreath Plus® [34,36].



Figure 5. Outils d'entraînement musculaire respiratoire de force. A : Pflex® (Respironics Inc.) [37]. B : Powerbreathe® K-Series (Powerbreathe Inc.) [38]. C: Threshold IMT® (Respironics Inc.) [39].

1.6.1.2 *Entraînement de résistance*

Les appareils conçus pour travailler l'endurance des muscles respiratoires cherchent à réaliser des séances de ventilation maximale contre une résistance minimale en conservant un niveau de CO₂ stable. Ils sont aussi appelés système d'hyperpnée normocapnique (HN). Pour contrôler l'hypocapnie secondaire à l'hyperpnée, le dispositif ajoute une portion de gaz carbonique qui permet d'apporter une quantité de CO₂ adaptée [34,40].



Figure 6. Appareil d'EMR d'endurance Spirotiger, Idiag Inc. [41]

1.6.2 Les protocoles

La plupart des protocoles d'entraînement évaluent la pression maximale, PIM ou PEM, pour déterminer la charge d'entraînement. La plupart commencent l'entraînement avec 30% de la PIM ou PEM et l'augmentent chaque semaine. L'entraînement est effectué entre 9 à 15 min de façon continue ou en séries, une ou deux fois par jour, de 5 à 7 jours par semaine [6,8,33].

Dans le cas de l'entraînement d'hyperpnée normocapnique, les protocoles se réalisent en 30 min en moyenne et à 55% de la capacité vitale des sujets [6,8,40].

1.7 La problématique

Jusqu'à présent, en ce qui concerne les effets de l'EMR chez les sujets tétraplégiques, les revues de littérature ont focalisé leurs recherches au regard des résultats de l'entraînement sur les épreuves de fonction pulmonaire, l'endurance, la qualité de vie, la dyspnée, la force des muscles respiratoires, et les complications respiratoires.

Par rapport aux épreuves de fonction pulmonaire, Brooks 2005, Van Houtte 2006, Lemos 2019 et Berlowitz 2013 ont trouvé des effets positifs de l'EMR sur la CV et la CPT après des programmes d'entraînement [4–6,8,42,43]. Ils constatent des effets positifs aussi dans le VR, la CI et la capacité vitale forcée CVF, mais les études sont peu nombreuses et l'évidence n'est pas concluante.

Par rapport à l'endurance, les données ne permettent pas d'assurer qu'il y a une amélioration à la suite des programmes d'entraînement respiratoire, sauf chez les athlètes tétraplégiques [5]. L'issue est identique s'agissant de la qualité de vie et des complications respiratoires [6,8,44,45].

Selon des revues de la littérature, suite aux programmes d'EMR, la dyspnée se voit réduite chez les sujets tétraplégiques [5,42–44]. Cependant une méta-analyse de Berlowitz 2014 montre que les effets ne sont pas significatifs [8].

Au regard de la force musculaire, dans la méta-analyse de Berlowitz 2013, 11 articles avec 212 sujets ont été analysés, et ils ont conclu que l'EMR a des effets positifs sur la force des muscles respiratoires en augmentant la PIM et la PEM chez les sujets tétraplégiques [6,8]. La plupart des revues précédentes sont arrivées à la même conclusion [4–8,42,43,45]. Cependant, le type d'entraînement le plus efficace au regard de l'intensité, de la fréquence et de l'appareil reste peu clair.

Par rapport à l'efficacité de la toux, les revues n'ont pas de données permettant d'analyser cette mesure. La seule étude qui a analysé le niveau de preuve de l'efficacité de la toux est celle de Templeman 2019. Ils ont réalisé une revue de littérature de l'effet de l'EME sur le DPT chez tout type de patient, mais ils n'ont pas trouvé d'articles chez les blessés médullaires qui mesurent ce paramètre.

Il est intéressant de mentionner que dans une étude réalisée par Postma en 2015, l'existence d'une association entre la PIM, la PEM et le DPT a été démontrée chez des sujets blessés médullaires [46]. Au travers d'une association longitudinale, il a été prouvé qu'une augmentation de la PIM de 10 cmH₂O est associée à une augmentation de 19,2 L/min dans le DPT, et une augmentation de 10 cmH₂O dans la PEM se traduit par une augmentation de 9 L/min dans le DPT. Ces résultats peuvent ouvrir une fenêtre par rapport aux bénéfices que l'EMR peut avoir dans l'efficacité de la toux, et cela car les résultats de la méta-analyse de Berlowitz ont démontré que l'EMR augmente de 10% la PIM et la PEM.

Si les effets de l'entraînement musculaire respiratoire sur la force des muscles respiratoires sont démontrés, le dosage de l'entraînement et les effets sur le mécanisme de la toux restent peu définis.

1.8 Les objectifs de la revue de littérature

Le but de ce mémoire de fin d'étude est de réviser la littérature disponible en ce qui concerne l'efficacité des différents types d'entraînement musculaire respiratoire sur la force des muscles respiratoires et sur la toux chez les sujets tétraplégiques.

1.8.1 Question de recherche

Quel type d'entraînement des muscles respiratoires est le plus efficace pour améliorer la force musculaire respiratoire PIM et PEM, et l'efficacité de la toux DPT chez les patients tétraplégiques entre C4 et T1 ?

2 Méthode

2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1 Critères d'inclusion

2.1.1.1 Types d'études

Afin de répondre à la question de recherche focalisée sur l'effectivité de l'EMR, les essais cliniques randomisés (ECR) en anglais, espagnol et français ont été retenus.

2.1.1.2 Population et pathologie

Des adultes paraplégiques à cause d'une lésion médullaire cervicale entre les niveaux C4 et T1 ASIA A, B ou C en stade aiguë ou chronique ont été inclus.

2.1.1.3 Intervention, facteurs pronostiques

Toute intervention décrite comme entraînement des muscles respiratoires a été considérée : l'entraînement des muscles inspiratoires, l'entraînement des muscles expiratoires, l'entraînement cumulatif des muscles inspiratoires et expiratoires. Les interventions effectuées en milieu hospitalier, centre de soins ou à la maison ont été incluses.

2.1.1.4 Comparateur

Ont été considérés des articles qui décrivent une intervention de type « Entraînement musculaire inspiratoire », « Entraînement musculaire expiratoire » et « Entraînement des muscles respiratoires » comparée avec un groupe témoin utilisant un traitement alternatif, un autre traitement des muscles respiratoires, un placebo, un traitement habituel ou sans traitement.

2.1.1.5 Outcome :

Les principales mesures choisies sont la pression inspiratoire maximale PIM ou Pimax (en cmH₂O) et la pression expiratoire maximale PEM ou Pemax (en cmH₂O). Le débit de pointe à la toux DPT en (L/min) (aussi appelé Cough Peak Flow), et les complications respiratoires ont été considérées comme une mesure secondaire.

2.1.2 Critères d'exclusion

Aux fins de cette étude, nous avons exclu :

- Des articles incluant des sujets avec d'autres pathologies neurologiques ou neuromusculaires associées.
- Des articles incluant des sujets avec des pathologies respiratoires non secondaires à la lésion médullaire.
- Des articles incluant des interventions avec des techniques d'aide à la toux manuelles ou mécaniques.
- Des articles incluant des interventions par stimulation électrique.

2.2 Méthodologie de la recherche des études

2.2.1 Sources documentaires investiguées

Afin de réaliser cette revue de littérature, ont été utilisées les bases de données Pubmed, PEDro, Cochrane, Scielo, MEDES, Kinedoc et Trip data base. La recherche a été réalisée entre le 7 et le 20 février 2020. La recherche a été réalisée sans limite de date de publication.

2.2.2 Equation de recherche utilisée

Les équations de recherche utilisées sont détaillées dans l'Annexe 3 et les termes utilisés ont été recherchés sur le titre, sur l'abstract et sur les mots clés des articles.

S'agissant de la base de données Pubmed, le critère MeSH a été appliqué avec les mots *tetraplegia, spinal cord injury, breathing exercises, respiratory muscle training* et *cough*.

S'agissant des bases de données, comme MedlinePlus, PEDro, Cochrane et Trip, les équations de recherche ont inclus aussi des autres termes comme *Quadriplegia, Cervical spinal cord injury, Ventilatory training, peak cough flow, PIM* et *PEM*.

Enfin, s'agissant de la base de données Kinedoc, les termes ont été cherchés en français. Pour les bases de données Scielo et MEDES les termes ont été cherchés en espagnol.

2.3 Extraction et analyse des données

2.3.1 Sélection des études

Tous les titres et abstracts de chaque recherche ont été analysés, en enlevant les références non pertinentes. Quand le titre ou l'abstract ne permettait pas un rejet de l'article, ce dernier a fait automatiquement l'objet d'une lecture intégrale.

Les articles sélectionnés ont répondu aux critères d'inclusion décrits ci-dessus. La raison pour laquelle les études ont été rejetées est décrite plus tard.

2.3.2 Extraction des données

Les données ont été extraites de chaque article, en considérant la qualité méthodologique des articles sélectionnés. Les essais cliniques randomisés ont été mis sur le système Mendeley Desktop.

2.3.3 Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

L'échelle PEDro a été utilisée pour évaluer la validité interne et la force statistique des résultats des essais cliniques randomisés. Cette échelle contient 11 items : le critère 1 évalue la validité externe, les critères 2 à 9 la validité interne et les critères 10 et 11 évaluent l'information statistique. Le score est calculé parmi les critères 2 à 11 avec un total sur 10 points où 10 est le maximum de qualité méthodologique. Une cotation égale ou supérieure à 7 a été considérée comme une bonne qualité méthodologique dans cette revue [47].

2.3.4 Méthode de synthèse des résultats

En cas de nécessité, le *t-test* a été appliqué sur les variables PIM, PEM et DPT des groupes avant l'intervention de chaque étude, afin de définir s'il existait des différences significatives entre le groupe traité et le groupe contrôle avant l'entraînement musculaire respiratoire (niveau de signification $p < 0,05$). L'analyse statistique a été faite sur GraphPad [48].

Pour les variables continues, PIM, PEM et DPT, la taille de l'effet a été calculée avec la différence inter-groupe post intervention de la moyenne \pm l'écart type (SD) à travers de GraphPad [48]. Un intervalle de confiance de 95% a été utilisé pour chaque étude. Le programme statistique IBM SPSS Statistics Viewer a été utilisé pour analyser les données et élaborer les graphiques.

En raison du petit nombre d'essais cliniques randomisés trouvés dans les revues de littérature précédentes, il est possible qu'il soit nécessaire de réaliser des analyses de résultats par groupe, notamment si les traitements utilisés sont divers.

2.4 Définitions

Les variables à analyser dans cette revue de littérature sont définies ci-dessous :

2.4.1 Force musculaire inspiratoire PIM

La force musculaire inspiratoire est indiquée par la pression statique inspiratoire maximale PIM, évaluée au niveau de la bouche. Elle correspond à une variable quantitative continue mesurée en cmH₂O.

2.4.2 Force musculaire expiratoire PEM

La force musculaire expiratoire est indiquée par la pression statique expiratoire maximale PEM, évaluée au niveau de la bouche. Elle correspond à une variable quantitative continue mesurée en cmH₂O.

2.4.3 Efficacité de la toux DPT

L'efficacité de la toux est indiquée par le débit expiratoire de pointe à la toux. Le DPT est la vitesse maximale à laquelle le flux d'air peut être expulsé des voies aériennes par la bouche. Elle correspond à une variable quantitative continue mesurée en L/min.

2.4.4 Les complications respiratoires

Les complications respiratoires sont le nombre d'hospitalisations de cause respiratoire vécues par les participants de l'étude.

La PIM et la PEM ont été considérées comme variables primaires. Le DPT et les complications respiratoires comme variables secondaires.

3 Résultats

3.1 Description des études

3.1.1 Diagramme de flux

Les bases de données ont identifié 490 références. Après avoir enlevé les études sur les animaux, les études non randomisées et les doublons, 18 articles ont été lus afin de trouver de possibles critères d'inclusion dans l'abstract ou dans le contenu (figure 7) (Annexe 3).

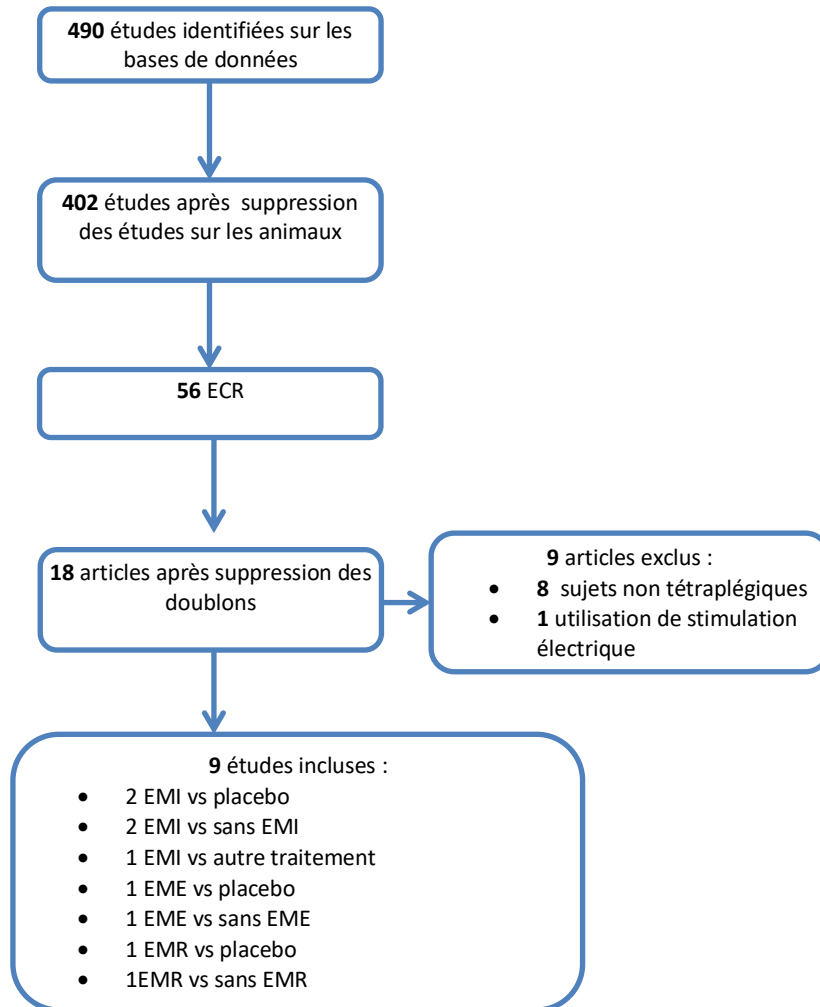


Figure 7. Diagramme de flux de sélection d'études. ERC essai clinique randomisé, EMI entraînement musculaire inspiratoire, EME entraînement musculaire expiratoire, EMR entraînement musculaire respiratoire.

3.1.2 Etudes exclues

Neuf articles ont été exclus. Parmi eux, 8 études concernaient des sujets paraplégiques dans la population étudiée, et un article a inclus des interventions par stimulation électrique. Le détail des études exclues est disponible dans l'Annexe 4.

3.1.3 Etudes incluses

On a inclus 9 articles avec 234 sujets analysés, dont 122 ont reçu une certaine forme d'entraînement musculaire respiratoire. Les caractéristiques de la population, le type d'entraînement respiratoire, les comparateurs et les données principales et secondaires de chaque étude sont résumés dans le tableau 2.

Ces études ont évalué l'effet de l'EMR chez des sujets tétraplégiques adultes. La plupart des participants étaient des hommes (70,51%). Seul un article a précisé que les sujets étaient sportifs [49]. Les articles ont inclus des sujets en état aigu à partir de 7 jours, et chronique jusqu'à 38 ans suivant la lésion (Annexe 5).

La taille des échantillons varie entre 11 et 62 participants avec des atteintes A, B et C, entre les niveaux C4 à T1, sur l'échelle du Score ASIA.

S'agissant de l'origine des articles, deux articles sont américains (Roth 2010 et Derrickson 1992) [50,51], deux articles sont australiens (Boswell-Ruys 2020 et Tamplin 2013) [52,53], les autres proviennent du Canada (Loveridge 1989) [54], d'Afrique du Sud (Gounden 1990) [55], de Taiwan (Liaw 2000) [56], de Suisse (Mueller 2013) [57] et d'Angleterre (West 2013) [49].

3.1.3.1 Types des études et comparateurs

Toutes les études sont des essais cliniques randomisés.

Deux études ont comparé l'EMR et une intervention alternative (Mueller 2013 C et Derrickson 1992). Huit études ont comparé l'EMR et un groupe témoin : quatre articles ont donné un traitement placebo (Boswell-Ruys 2020, Mueller 2013 A et B, West 2013 et Roth 2010) et quatre un traitement standard sans EMR (Tamplin 2013, Liaw 2000, Gounden 1990 et Loveridge 1989).

L'article de Mueller 2013 a utilisé des comparaisons entre 3 groupes avec 2 types différents d'EMR et un groupe témoin [57]. Afin d'inclure les deux types d'entraînement dans cette revue, on les a listés comme Mueller 2013 A, Mueller 2013 B et Mueller 2013 C.

3.1.3.2 Interventions réalisées

Type d'entraînement respiratoire

Deux articles ont réalisé un entraînement musculaire respiratoire inspiratoire et expiratoire (Boswell-Ruys 2020 et Tamplin 2013), cinq études ont utilisé un EMI (Mueller 2013, West 2013, Liaw 2000, Derrickson 1992 et Loveridge 1989) et deux un EME (Roth 2010 et Gounden 1990).

Toutes les études ont effectué un entraînement de renforcement musculaire.

Seul Mueller 2013 a évalué les effets de l'entraînement d'endurance. Il a comparé 3 groupes. Un groupe a effectué un EMI de renforcement, un autre un entraînement d'endurance avec hyperpnée normocapnique, et un groupe témoin a utilisé un traitement placebo avec Voldyng. Aux fins de rédaction de cette revue, la comparaison de l'EMI versus le groupe témoin sera appelée Mueller 2013 A. La comparaison de l'entraînement d'Hyperpnée Normocapnique versus le groupe témoin sera appelée Mueller 2013 B. Et enfin, la comparaison de l'EMI versus le groupe avec HN sera appelée Mueller C.

Tableau 2. Caractéristiques des études incluses. T taille, GT groupe traité, GC groupe témoin, EMI entraînement musculaire inspiratoire, EME entraînement musculaire expiratoire, HN hyperpnée normocapnique, PEM pression expiratoire maximale, NR non référée, FIM force inspiratoire maximale, VVM ventilation volontaire par minute, rép répétitions, min minutes, sem semaines.

ARTICLE	POPULATION						INTERVENTION								COMPARATEUR	OUTCOMES
	Taille			Age moyenne ± écart type		lésion	niveau	type	outil	intensité	temps	progr- sion.	fréq.	suivi sem		
T	GT	GC	GT	GC	(ans)										(ans)	ASIA
Boswell-Ruys 2020	62	30	32	51.5± 14.3	55.7 ± 14.9	C4 à C7 A B C	EMI+ EME	Threshold IMT et EMT	Seuil de pression	30% PIM et PEM	3 à 5 séries de 12 rép	5 à 10% sem	2xjour 5xsem	6	Placebo Threshold	PIM, PEM, DPT, fonction pulmonaire complications respiratoires, questionnaire
Tamplin 2013	24	13	11	44±15	47±13	C4 à T1 ABC	EMR	Chanter karaoke Singstar	Le chant	NR	1 heure	NR	3xsem	12	Sans EMR	Fonction pulmonaire, PIM, PEM, SNIP, EMG, questionnaire
Mueller 2013 A	24	8	8	35± 12.7	41.6± 17.0	C5 à C8 A	EMI	Respifit S	Seuil de pression	80% FIM	90 rép.	80% FIM x séance	4xsem	8	Placebo Voldyng 10 min	Fonction pulmonaire, PIM, PEM, toux subjective,
Mueller 2013 B	24	8	8	33.5± 11.7	41.6± 17.0	C5 à C8 A	HN	Spirotriger	Hyperpnée normocap- nique	40- 50%VV M	10min	1 tous les 2 séances	4xsem	8	Placebo Voldyng 10 min	voix, SF12, mobilité thoracique
West 2013	12	5	6	30.52 ± 2.2	27.9± 2.8	C5 C7 AB	EMI	Power breathe plus	Seuil de pression	50- 60%PIM	30 rép.	30 rep. confor- tables	2xjour 5xsem	6	Placebo inhaler HFA	Dyspnée, épaisseur de diaphragme, PIM, PEM, fonction pulmonaire
Roth 2010	29	16	13	31.1± 12.4	28.9± 9.6	C4 T1 A	EME	Boering inspirator y 4101	Résistance passive au débit	NR	10 rép.	NR	2xjour 5xsem	6	Placebo sans résistance expiratoire	Fonction pulmonaire, PIM PEM
Liaw 2000	20	10	10	30.9± 11.6	36.5± 11.5	C4 C7 A	EMI	IMT DHD	Résistance passive au débit	Minimum	15 - 20 min	comple- ter 3 fois	2xjour 7xsem	6	Sans EMI	Fonction pulmonaire, PIM PEM dyspnée, toux.
Derrickson 1992	11	6	5	28.5± 5.6	27.0± 10.7	C4 C7 A	EMI	IMT DHD	Résistance passive au débit	Minimum	15min	comple- ter 3 fois	3xjour 5xsem	7	Poids abdominal 11.34 10repx4	Fonction pulmonaire, PIM
Gounden 1990	40	20	20	27.8± 7.21	34.2± 10.8	C5 C7 AB	EME	PFLEX	Résistance passive au débit	60%PE M	5-8 min	5 à 10% sem	5xjour 6xsem	8	Sans EMI	PEM PIM CV
Loveridge 1989	12	6	6	31± 4.1	35±12	C6 C7 A B	EMI	Threshold	Seuil de pression	85%SIP	15 min	85% SIP 2 sem	2xjour 5xsem	8	Sans EMI	Fonction pulmonaire, PIM, SIP

Les outils d'entraînement

Quatre articles ont utilisé un entraînement de renforcement avec des outils de résistance passive au débit. Roth 2010 et Gounden 1990 ont développé un protocole en utilisant cet outil pour réaliser un EME. Liaw 2000 et Derrickson 1992 l'ont utilisé pour un EMI.

Quatre études ont effectué un entraînement de renforcement avec des outils de valve au seuil de pression. Boswell-Ruys 2020 a utilisé la valve Threshold pour effectuer un EMR des muscles inspiratoires, puis les sujets ont réalisé un entraînement des muscles expiratoires avec le même système. Les trois autres études : Mueller 2013 A, West 2013 et Loveridge 1989, ont utilisé des systèmes de valve au seuil de pression pour ne réaliser qu'un EMI.

Seulement une étude, celle de Mueller 2013 B, a utilisé un outil d'entraînement d'endurance d'hyperpnée normocapnique Spirotiger.

Aucune étude n'a utilisé des outils de résistance au débit à réglage dynamique. Cependant Tamplin 2013 a utilisé le chant comme moyen d'entraînement musculaire respiratoire. Cette étude, répondant à tous les critères d'inclusion, a été considérée dans l'analyse.

L'intensité

Par rapport aux systèmes d'entraînement avec un seuil de pression, les protocoles ont évalué la PIM, la PEM (West 2013 et Boswell-Ruys 2020), la force inspiratoire maximale FIM (Mueller 2013 A) ou soutenue SIP (Loveridge 1989) pour estimer l'intensité de traitement. Les pourcentages de la PIM, PEM, FIM ou SIP pour déterminer la charge de travail ont varié entre 30% et 85%.

S'agissant des systèmes de résistance passive au débit, la seule étude qui mentionne la charge de travail est celle de Gounden 1990. Il utilise 60% de la PEM comme charge initiale de traitement.

Dans le groupe d'entraînement avec HN de Mueller 2013 B, l'intensité de travail a été fixée à 40% de la VVM.

Le temps et la fréquence de traitement

S'agissant du système de seuil de pression, West 2013, Boswell-Ruys 2020 et Mueller 2013 A ont déterminé des séances de 30, 60 et 90 répétitions. Les séances ont été réalisées une ou deux fois par jour et 4 à 5 fois par semaine. Le groupe de Loveridge 1989 a effectué 2 séances de 15 minutes par jour, 5 fois par semaine.

Les études utilisant des systèmes de résistance passive au débit ont réalisé des séances quotidiennes de 20 à 45 minutes, 5 à 7 fois par semaine (Roth 2010, Liaw 2000, Derrickson 1992 et Gounden 1990).

S'agissant de l'entraînement en endurance HN, Mueller 2013 B a effectué 2 séances quotidiennes de 10 minutes chacune, 4 fois par semaine.

Enfin, Tamplin 2013 a réalisé des séances de chant d'une heure 3 fois par semaine.

Le suivi du traitement a été de 6 à 8 semaines pour toutes les études, sauf Tamplin 2013 qui a suivi ses groupes pendant 12 semaines.

La progression

Toutes les études n'ont pas été précises par rapport à la progression de l'entraînement. West 2013, Liaw 2000 et Derrickson 1992 ont progressé dès lors qu'un certain nombre de répétitions étaient effectuées sans fatigue.

Gounden 1990 et Boswell-Ruys 2020 ont augmenté la charge de travail de 5 à 10% chaque semaine. D'autre part, Mueller 2013 A a évalué la force inspiratoire maximale une fois par semaine et il a réajusté à 80% de la FIM chaque semaine.

3.2 Qualité méthodologique des études

La qualité méthodologique des 9 articles inclus dans cette revue de littérature a été analysée avec l'échelle PEDro. Les résultats sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3. Grille d'analyse « Echelle PEDro » pour chaque étude incluse. Les items 2 à 11 sont considérés.

ARTICLE	Total	Assignment aléatoire	Assignment dissimulée	Similitude de base	Participants aveugles	Thérapeutes aveugles	Evaluateur aveugle	Suivi adéquat	Analyse de l'intention de traiter	Comparaison intergroupe	Mesure de l'effet et dispersion
Boswell-Ruys 2020	10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tamplin 2013	8	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
Mueller 2013	5	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓
West 2013	4	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓
Roth 2012	6	✓	x	✓	x	x	✓	x	x	✓	x
Liaw 2000	4	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓
Derrickson 1992	3	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓
Gounden 1990	5	✓	x	✓	x	x	x	✓	x	✓	✓
Loveridge 1989	4	✓	x	✓	x	x	x	x	x	✓	✓

S'agissant de la qualité méthodologique des 9 articles, uniquement deux ont eu un score supérieur ou égal à 7 sur l'échelle PEDro (Boswell-Ruys 2020 et Tamplin 2013). Derrickson 1992 a eu le score le plus bas.

Concernant les biais de sélection, toutes les études ont identifié la population cible et les critères d'éligibilité étaient clairs. Tous les articles ont assigné de manière aléatoire dans les groupes (critère 2 sur l'échelle PEDro).

Les comparaisons statistiques intergroupe et la mesure de l'effet ont été mesurées pour les principales variables, et ce dans la majorité des études (critères 10 et 11 sur l'échelle PEDro).

3.2.1 Les principaux risques de biais

3.2.1.1 Biais d'allocation

Seulement deux études ont utilisé une assignation secrète. Pour les 7 autres études, bien que la répartition dans les groupes a été faite au hasard, l'assignation n'a pas été dissimulée (critère 3 sur PEDro) et les échantillons étaient petits. Par contre, les groupes avaient des caractéristiques et des données similaires lors du début de l'étude (critère 4 sur PEDro).

3.2.1.2 *Biais de performance ou d'évaluation*

La seule étude qui a réussi à avoir les participants, thérapeutes et évaluateurs en aveugle est celle de Boswell-Ruys 2020 (critères 5, 6 et 7 sur PEDro). Tous les autres articles ont un biais de performance ou d'évaluation. Cependant Mueller 2013 et West 2013 ont prévenu ce risque de biais en utilisant un groupe placebo, Templin 2013 et Roth 2012 ont mis au moins l'évaluateur en aveugle.

3.2.1.3 *Biais d'attrition et de suivi*

Deux articles ont décrit ce biais dans leur rapport (Boswell-Ruys 2020 et Tamplin 2013). Les sept autres articles n'ont pas mentionné ce critère. Dans ces 7 articles, (i) des sujets ont quitté l'étude en cours sans que l'on connaisse la raison, (ii) d'autres n'ont pas complété l'intervention entièrement, et (iii) le pourcentage de perte dépassait les 15% (critères 8 et 9 sur PEDro).

Boswell-Ruys 2020, West 2013 et Loveridge 1989 ont mentionné les sources de financement de son étude. Tous les autres articles n'ont pas déclaré des conflits d'intérêts.

3.3 Effets des interventions

L'effet de l'entraînement musculaire respiratoire sur la PIM a été évalué dans 8 des 9 articles, et sur la PEM dans 7 des 9 articles. La plupart ont considéré la valeur la plus haute de 3 essais. Loveridge 1989 est le seul à considérer la moyenne. Toutes les valeurs ont été exprimées en valeurs absolues (la PIM est positive, non négative).

Concernant la position de l'évaluation de la PIM et la PEM, sept articles ont testé les sujets en position assise, un en position allongée (Derrickson 1992), et une étude incluant les deux positions (Gounden 1990) (Annexe 6).

La PIM et la PEM ont été évaluées avec la même mesure. Cependant, les données ont été évaluées différemment pour l'efficacité de la toux et les complications respiratoires.

Quatre articles ont mentionné qu'avant l'intervention, les données étaient similaires pour le groupe traité et le groupe contrôle. Toutes les études ont décrit une distribution normale, et le *t-test non apparié* a été appliqué pour vérifier qu'il n'y avait pas de différences statistiquement significatives pour la PIM, la PEM et le DPT avant l'intervention entre les groupes de chaque étude. Les *p-value* ont confirmé cette hypothèse (Annexe 7).

La taille de l'effet de l'entraînement sur la PIM et la PEM avec un Intervalle de Confiance à 95% a été calculée sur les différences intergroupes de la moyenne post traitement. Mueller 2013 a présenté ses résultats post intervention avec le *change score* intragroupe. Pour la présente revue, les moyennes et les écarts types de la PIM et PEM post intervention ont été récupérés du méta-analyse de Berlowitz 2013 qui ont obtenu ces données directement des auteurs [8].

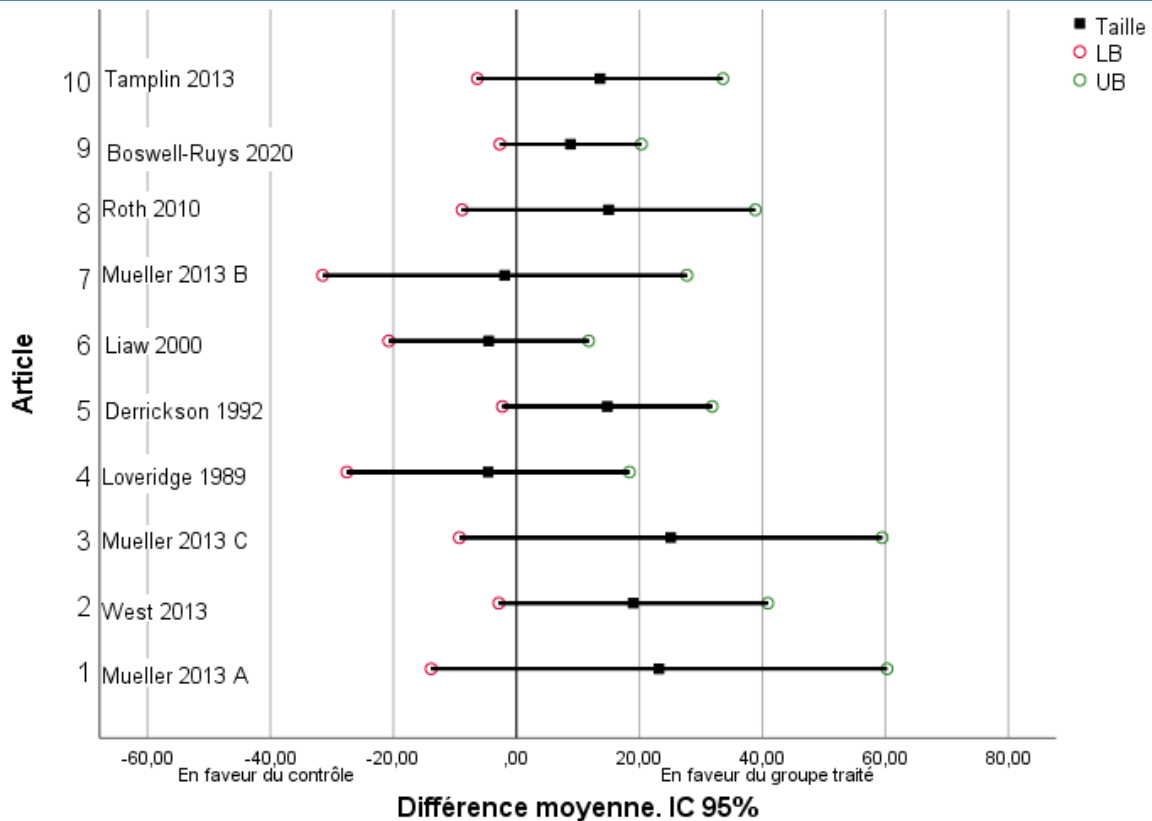
Les tableaux 4 et 5 et les graphiques des figures 8 et 9 montrent la taille de l'effet (IC de 95%) pour les différents types et outils d'entraînement utilisés dans chaque étude.

3.3.1 Force musculaire inspiratoire PIM

Le tableau 4 montre la taille de l'effet sur la PIM pour les 8 études qui l'ont mesurée.

Tableau 4. Moyenne \pm écart type SD de la PIM en cmH₂O pour le groupe traité (GT) et le groupe contrôle (GC) post-intervention et la taille de l'effet IC 95%. (Mueller 2013 a été divisé en 3 études).

Etude	Type d'entraînement	Comparateur	N° sujets		PIM moyenne post intervention \pm SD		Taille de l'effet Taille et IC 95%		
			GT	GC	GT	GC			
1	Mueller 2013 A	EMI	Seuil de pression	Placebo	8	8	101,5 \pm 38,2	78,3 \pm 30,5	23,2 [-13,87 – 60,27]
2	West 2013	EMI	Seuil de pression	Placebo	5	5	135 \pm 15	116 \pm 15	19 [-2,88 – 40,88]
3	Mueller 2013 C	EMI	Seuil de pression	HN	8	8	101,5 \pm 38,2	76,4 \pm 24,4	25,1 [-9,27 – 59,47]
4	Loveridge 1989	EMI	Seuil de pression	Sans EMI	6	6	100.7 \pm 19.3	105.3 \pm 16.3	-4,6 [-27,58 – 18,38]
5	Derrickson 1992	EMI	Résistance au débit	Poids Abd	6	5	58.17 \pm 12.00	43.40 \pm 13	14,77 [-2,29 – 31,38]
6	Liaw 2000	EMI	Résistance au débit	Sans EMI	10	10	58.6 \pm 16.7	63.1 \pm 17.9	-4,5 [-20,76 – 11,76]
7	Mueller 2013 B	HN	HN Spirotriger	Placebo	8	8	76,4 \pm 24,4	78,3 \pm 30,5	-1,9 [-31,52 – 27,72]
8	Roth 2010	EME	Résistance au débit	Placebo	16	13	71 \pm 32	56 \pm 30	15 [-8,85 – 38,85]
9	Boswell-Ruys 2020	EMR	Seuil de pression	Placebo	30	32	63.7 \pm 24.0	54.9 \pm 21.3	8,8 [-2,7 – 20,31]
10	Tamplin 2013	EMR	Le chant	Sans EMR	13	11	88.90 \pm 20.39	75.30 \pm 26.68	13,6 [-6,38 – 33,58]



Sept des dix groupes analysés ont montré une augmentation de la force musculaire inspiratoire moyenne dans le groupe traité comparé au groupe contrôle. L'augmentation varie de 8,8 cmH₂O (IC95% de -2,7 à 20,31) à 25,1 cmH₂O (IC95% de -9,27 à 59,47). La

plupart ont obtenu plus de 10 cmH₂O de différence (60%), cependant les écarts type restent larges et traversent le seuil statistique.

Boswell-Ruys 2020, Derrickson 1992 et West 2013 ont eu une taille de l'effet moins importante en faveur de l'EMR, mais avec des intervalles de confiance plus réduits.

Loveridge 1989, Liaw 2000 et Mueller 2013 B n'ont pas eu de résultats en faveur de l'EMR.

3.3.1.1 Efficacité des différents types d'entraînement sur la force inspiratoire

Six études ont évalué l'efficacité de l'EMI sur la PIM. Quatre ont trouvé une augmentation de la force inspiratoire dans le groupe qui avait effectué l'entraînement (Mueller 2013 A, West 2013, Mueller C et Derrickson 1992).

Lors de la comparaison de l'EMI avec un autre traitement, l'effet le plus grand a été trouvé par Mueller 2013 en comparant l'EMI vs l'entraînement d'endurance HN (25,1 cmH₂O IC95% de -9,27 à 59,47). La comparaison avec un autre traitement comme le poids abdominal (Derrickson 1992) a aussi été en faveur du groupe traité (14,77 cmH₂O IC95% de -2,29 à 31,38).

Mueller 2013 A et West 2013 ont eu une augmentation de la PIM avec l'EMI versus placebo, la différence la plus haute était de 23,2 cmH₂O (IC95% de -13,87 à 60,27).

Les deux études qui n'ont pas eu des résultats en faveur de l'EMI ont comparé l'effet de l'EMI versus un groupe sans traitement.

Concernant l'efficacité de l'EME sur les muscles inspiratoires, Roth a trouvé que le groupe avec EME a eu 15 cmH₂O (IC95% de -8,85 à 38,85) de PIM en plus que le groupe placebo.

L'entraînement inspiratoire et expiratoire a eu une taille de l'effet en faveur de l'EMR mais moins importante que les autres types d'entraînement (la taille de l'effet la plus grande est de 13,6 cmH₂O IC95% de -6,38 à 33,58).

3.3.1.2 Efficacité des différents outils de traitement sur la force inspiratoire

L'outil de renforcement le plus utilisé a été l'appareil au seuil de pression. Des cinq études, quatre ont eu une augmentation de la PIM chez les groupes qui ont réalisé un EMR avec cet outil, notamment avec l'EMI (taille de l'effet jusqu'à 25,1 cmH₂O IC95% de -9,27 à 59,47).

Les systèmes de résistance au débit ont été utilisés dans 3 études. Deux ont eu des résultats en faveur de l'entraînement musculaire respiratoire lors de la comparaison avec un groupe placebo ou avec un autre traitement (taille de l'effet jusqu'à 15 cmH₂O IC95% -8,85 à 38,85).

L'entraînement d'endurance avec HN n'a pas montré de bénéfice pour gagner de la force des muscles inspireurs. Le chant a des effets positifs sur la PIM (taille de l'effet de 13,6 cmH₂O IC95% de -6,38 à 33,58).

3.3.1.3 Intensité, temps et fréquence de traitement

Les 3 groupes qui ont eu la taille de l'effet la plus grande ont réalisé des programmes d'entraînement avec 50 à 80% de la PIM, répétitions de 60 à 90 par jour, 4 à 5 fois par semaine, pendant 6 à 8 semaines (Mueller A et C 2013, et West 2013).

3.3.2 Force musculaire expiratoire PEM

Neuf études ont évalué les effets de l'entraînement sur la force des muscles expiratoires.

Tableau 5. Moyenne \pm écart type SD de la PEM en cmH2O pour le groupe traité (GT) et le groupe contrôle (GC) post-intervention et la taille de l'effet IC95%. (Mueller 2013 a été divisé en 3 études)

Etude	Type d'entraînement	Comparateur	N° sujets		PEM moyenne post intervention \pm SD		Taille de l'effet		
			GT	GC	GT	GC	Taille et IC 95%		
1	Mueller 2013 A	EMI	Seuil de pression	Placebo	8	8	63 \pm 38,6	65 \pm 40,1	-2 [-44,21 – 40,21]
2	West 2013	EMI	Seuil de pression	Placebo	5	5	94 \pm 19	71 \pm 15	23 [-1,96– 47,96]
3	Mueller 2013 C	EMI	Seuil de pression	HN	8	8	63 \pm 38,6	67,3 \pm 35,9	-4,3 [-44,27 – 35,67]
4	Liaw 2000	EMI	Résistance au débit	Sans EMI	10	10	39,7 \pm 18,8	40,9 \pm 8,9	-1,2 [-15,02 – 12,62]
5	Mueller 2013 B	HN	HN Spirotriger	Placebo	8	8	67,3 \pm 35,9	65 \pm 40,1	2,3 [-38,51 – 43,11]
6	Roth 2010	EME	Résistance au débit	Placebo	16	13	98 \pm 35	91 \pm 26	7 [-17 – 31]
7	Gounden 1990	EME	Résistance au débit	Sans EME	20	20	68,05 \pm 23,28	46,45 \pm 19,91	21,6 [7,73 – 35,47]
8	Boswell-Ruys 2020	EMR	Seuil de pression	Placebo	30	32	38.4 \pm 21.7	37.4 \pm 17.8	1 [-9,06 – 11,06]
9	Tamplin 2013	EMR	Le chant	Sans EMR	13	11	86.60 \pm 37.96	91.20 \pm 35.04	-4,6 [-35,75 – 26,55]

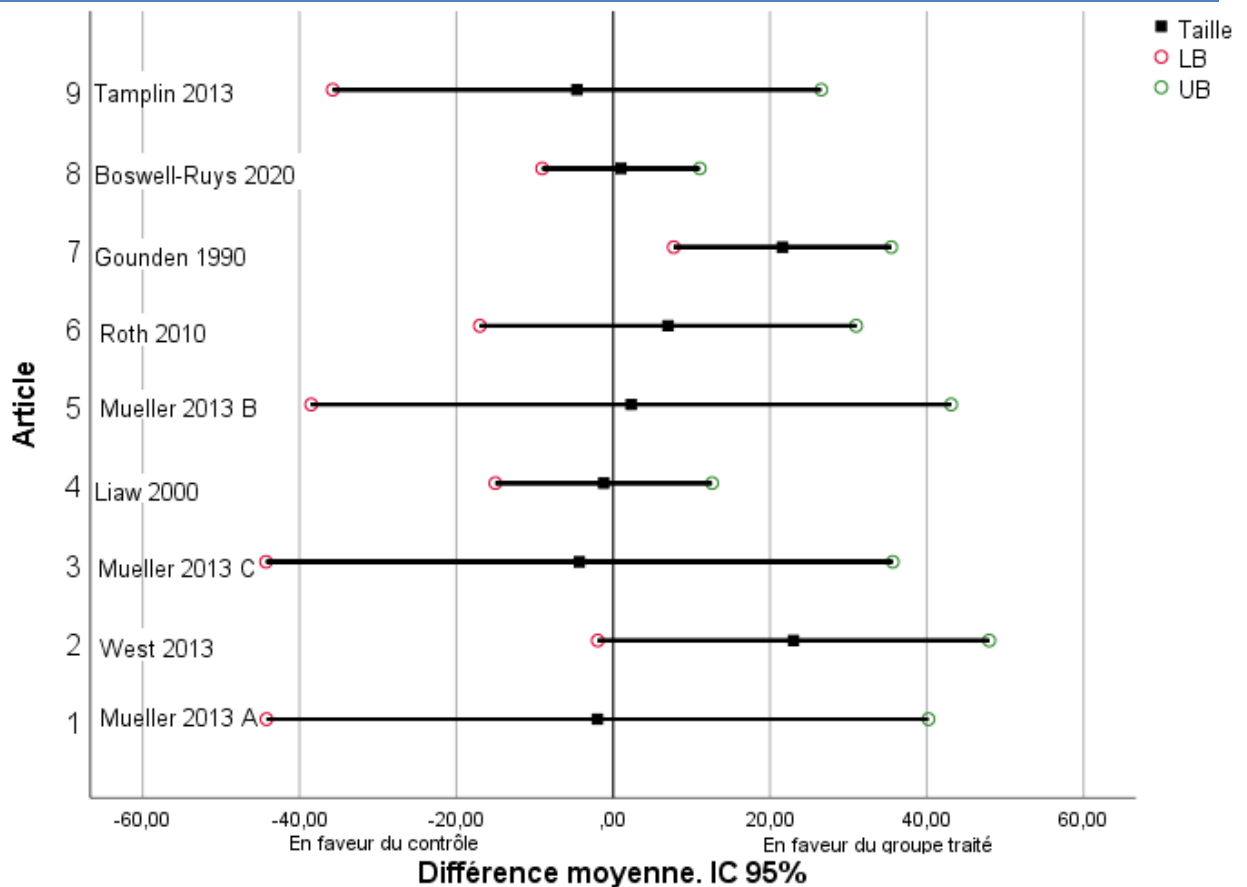


Figure 9. Graphique Forest Plot de la taille de l'effet de l'EMR sur la PEM en cmH2O (IC 95%). Taille : taille de l'effet, LB : limite inférieure, UB : limite supérieure.

Cinq études montrent une augmentation de la force musculaire expiratoire dans le groupe traité par rapport au groupe contrôle. Gounden 1990 a la taille de l'effet la plus importante et l'IC95% plus étroite avec 21,6 cmH2O (IC95% de 7,36 à 35,47).

La taille de l'effet des études qui ont eu des résultats en faveur du groupe contrôle varie jusqu'à -4,6 (IC95% de -35,75 à 26,55).

3.3.2.1 Efficacité des différents types d'entraînement sur la force expiratoire

Deux études ont évalué l'effet de l'EME sur la PEM et démontrent des effets bénéfiques. Cependant l'EME de Gounden 1990 a eu la taille de l'effet et l'IC les plus importants.

L'EMI a eu des effets positifs sur la PEM dans une étude. West 2013 a comparé l'EMI versus placebo démontrant une augmentation de la PEM de 23 cmH₂O (IC95% de -1,96 à 47,96). Cependant, trois autres études n'ont pas eu des résultats en faveur du traitement.

L'entraînement inspiratoire et expiratoire ensemble a eu des faibles résultats sur la PEM. Boswell-Ruys 2020 a décrit une augmentation de 1 cmH₂O (IC95% de -9,06 à 11,06) mais Tamplin 2013 n'a pas eu des résultats en faveur du groupe traité.

3.3.2.2 Efficacité des différents outils de traitement sur la force expiratoire

Les deux études qui ont entraîné les muscles expiratoires ont utilisé un outil de résistance au débit. Les résultats sont en faveur du groupe traité. Cependant, les résultats les plus importants apparaissent lorsque l'outil de résistance est comparé au groupe sans EME (21,6 cmH₂O IC95% de 7,36 à 35,47).

Les outils de seuil de pression ont été utilisés pour l'EMI et pour l'EMR inspiratoire et expiratoire. La taille de l'effet la plus importante a été en faveur du groupe traité avec EMI avec une augmentation de la PEM 23 cmH₂O (IC95% de -1,96 à 47,96) comparé avec le groupe placebo.

L'entraînement d'endurance avec HN a eu des effets positifs sur la PEM (5,25 cmH₂O IC95% de -26,28 à 36,78).

Le chant n'a pas montré d'effet bénéfique sur la PEM.

3.3.2.3 Intensité, temps et fréquence de traitement

Les meilleurs résultats pour la PEM ont été trouvés lorsque l'entraînement était à 60% de la PIM ou PEM, 30 répétitions ou 8 minutes de séance, au moins 2 fois par jour, de 5 à 6 fois par semaine et de 6 à 8 semaines.

3.3.3 Efficacité de la toux DPT

Seule l'étude de Boswell-Ruys 2020 a évalué l'efficacité de la toux avec le DPT [52]. La taille de l'effet était de 0 cmH₂O (IC 95% de -0,87 à 0,87) (tableau 6).

Tableau 6. Moyenne \pm SD du DPT L/s post-intervention de groupe traité (GT) et groupe contrôle (GC) et taille de l'effet.

N°GT	N°GC	DPT GT	DPT GC	Taille de l'effet et IC 95%
30	32	4.7 \pm 1.6	4.7 \pm 1.8	0 [-0,87 – 0,87]

Mueller 2013 a évalué l'efficacité de la toux mais avec une échelle subjective de 0 à 10, similaire à l'échelle numérique de la douleur. La sensation d'éliminer correctement les glaires était cotée de 0 (pas possible) à 10 (possible sans problème) [57]. La table 7 montre le *change score* de la toux de chaque groupe. Cette valeur est la différence moyenne intra-

groupe et nous permet de calculer la différence intergroupe de ce *change score*. La taille de l'effet la plus importante a été au moment de comparer l'EMI versus l'HN.

Tableau 7. Taille de l'effet du *change score* de l'efficacité subjective de la toux.

Article	Type	Comparateur	N°GT	N°GC	GT	GC	Taille de l'effet et IC 95%
Mueller 2013 A	EMI	Placebo	8	8	1.08±1.47	0.89±3.41	0,19 [-1,39 – 1,77]
Mueller 2013 B	NH	Placebo	8	8	-0.05±1.56	0.89±3.41	-0,94 [-3,78 – 1,90]
Mueller 2013 C	EMI	HN	8	8	1.08±1.47	-0.05±1.56	1,13 [-0,50 – 2,76]

Liaw 2000 a décrit aussi dans sa méthodologie de recherche l'intention d'évaluer subjectivement la toux (*fonctionnelle, faible-fonctionnelle* ou *non-fonctionnelle*), mais les données post intervention n'ont pas été publiées [56].

3.3.4 Complications respiratoires

Les complications respiratoires ont été évaluées dans l'étude de Boswel-Ruys 2020. Les auteurs ont comptabilisé les hospitalisations pour cause respiratoire ou problèmes respiratoires aigus des participants pendant une année. 10 sujets du groupe contrôle ont développé des complications respiratoires une année après l'intervention par rapport à 3 sujets du groupe traité avec EMI [52].

Les autres études n'ont pas considéré cette variable.

4 Discussion

4.1 Analyse des principaux résultats

L'objectif de cette revue a été de déterminer avec la littérature disponible, quel entraînement musculaire respiratoire est le plus efficace pour améliorer la force des muscles respiratoires et l'efficacité de la toux chez les sujets tétraplégiques niveaux C4 à T1.

Les résultats montrent que la force musculaire inspiratoire, évaluée par la PIM, et la force musculaire expiratoire, évaluée par la PEM, augmentent avec l'entraînement des muscles respiratoires, tout comme les revues précédentes.

En 2014, Tamplin et Berlowitz ont publié une méta-analyse de l'effet de l'EMR sur la fonction pulmonaire chez les blessés médullaires cervicaux. Ils ont conclu que l'EMR augmentait la PIM de 10,6 cmH₂O, et la PEM de 10,3 cmH₂O [8]. Dans la présente revue, des valeurs similaires ont été trouvées avec une augmentation de la PIM jusqu'à 23 cmH₂O (IC95% - 13,87 à 60,27). Le seuil de signification clinique aux fins de cette revue a été considéré quand l'augmentation de la PIM et la PEM était supérieure à 10 cmH₂O.

Récemment, Lemos 2019 a publié une revue de l'effet de l'EMR sur la fonction pulmonaire chez les sujets blessés médullaires sportifs et non sportifs et ils ont eu des résultats similaires [5]. Cependant aucune de ces études n'a pu déterminer quel type d'entraînement était le plus efficace.

4.1.1 L'entraînement respiratoire le plus efficace

4.1.1.1 *L'entraînement de renforcement des muscles inspiratoires avec valve au seuil de pression augmente la force des muscles inspiratoires*

L'augmentation de la PIM semble être plus décrite que l'augmentation de la PEM. Les études qui ont eu les meilleurs effets sur l'augmentation de la force inspiratoire chez les sujets tétraplégiques sont celles qui ont utilisé l'EMI, et qui l'ont comparé avec un groupe placebo ou avec un groupe utilisant un entraînement d'endurance.

Ce résultat peut être dû au fait que la plupart des études incluses dans cette revue ont évalué l'effet de l'entraînement musculaire inspiratoire de renforcement. Seule une étude a utilisé l'entraînement d'endurance et elle n'a pas trouvé d'effets bénéfiques sur la PIM.

La taille de l'effet la plus importante a été trouvée lors de l'utilisation des outils de valve au seuil de pression avec une charge d'entraînement de 50 à 80% de la PIM de base, 60 à 90 répétitions par jour, 4 à 5 fois par semaine. L'augmentation de la PIM avec cet outil a été jusqu'à 25,21 cmH₂O (IC95% -9,27 à 59,47).

Cependant l'écart type de l'intervalle de confiance est trop large. Une des raisons peut être due à la taille des échantillons. Mis à part Boswell-Ruys 2020, tous les autres articles ont des petits échantillons de maximum 30 sujets. Evidemment, une autre cause possible à analyser est la variabilité des résultats de la PIM des sujets, comme dans l'étude de Mueller 2013 où l'IC varie de -13,87 à 60,27 cmH₂O.

Bien que les protocoles de mesure des variables étaient similaires et basés sur les recommandations de la Société Européenne Respiratoire, pour la plupart des articles, il y a une hétérogénéité des valeurs de PIM ou PEM évaluées dans les différentes études.

Les caractéristiques de la position du sujet et les protocoles utilisés pour évaluer la PIM et la PEM ont été décrites à l'Annexe 6. Cependant, l'utilisation de la ceinture de maintien abdominale n'a pas été intégrée, ce qui peut en conséquence constituer une source de biais de la présente revue.

Ce point est très important car dans la LME cervicale, les mesures de la fonction respiratoire peuvent être sensiblement affectées par la position dans laquelle les tests sont effectués et par la présence ou non d'une ceinture abdominale [8]. Par exemple, la position allongée et l'utilisation de la ceinture élastique augmentent la CV chez les sujets tétraplégiques.

En conséquence, l'efficacité de l'EMI avec valve au seuil de pression est difficile à estimer car l'intervalle de confiance est trop large, et les conclusions de cette revue doivent être prises avec prudence.

4.1.1.2 L'intensité et la fréquence de l'entraînement étaient diverses

L'intensité des programmes d'entraînement analysés dans cette revue était très hétérogène.

L'entraînement de renforcement est normalement défini par la charge, la durée ou répétition, la fréquence et le temps d'entraînement. La charge la plus utilisée pour l'entraînement de renforcement est de 70% à 90% de la force maximale, 30 à 60 secondes, trois à quatre fois par semaine [32].

Dans les articles analysés, cette charge était comprise entre 30% et 80%, mais les études qui ont eu les meilleurs résultats sur la PIM ont utilisé une charge de 80% de la PIM, avec un ajustement de charge toutes les semaines.

Les effets bénéfiques sur la force inspiratoire ont été obtenus suite à 6 ou 8 semaines d'entraînement dans la plupart des études. Selon la littérature disponible, les changements neuromusculaires provoqués par l'exercice sont dus les 5 premières semaines à l'amélioration de la plasticité neuronale. Ce n'est que passé ce délai de 5 semaines que des modifications dans les fibres musculaires sont trouvées. Ce principe d'entraînement est aussi applicable aux muscles respiratoires [32]. Si les effets sur le muscle ont commencé, le temps que les sujets doivent continuer l'entraînement, et la durée de ces effets restent peu clairs.

Au vu de cela, six semaines d'entraînement peuvent ne pas être suffisantes pour obtenir des effets significatifs au niveau de la PIM. Il est possible que huit semaines d'entraînement aient de meilleurs effets sur la force musculaire, et principalement sur l'effectivité de la toux.

4.1.1.3 Le chant peut augmenter la force inspiratoire

L'EME et l'entraînement de deux groupes musculaires ensemble peuvent être efficaces pour avoir une augmentation de la force inspiratoire, mais la taille de l'effet est moins importante par rapport à celle trouvée avec l'EMI.

Parmi ce dernier type d'entraînement, 12 semaines de chant en utilisant karaoke Singstar semble être plus efficace que 6 semaines d'entraînement des muscles inspiratoires et expiratoires ensemble. Le chant peut être une alternative ludique, motivante et pas cher pour des patients attirés par cette activité.

4.1.1.4 L'entraînement musculaire respiratoire a des résultats peu concluants sur la PEM

Cinq des neuf études ont eu une augmentation de la PEM, mais seulement deux ont eu une augmentation de plus de 10 cmH₂O comparé avec un groupe contrôle. Identiquement, en 2017, Dahm a réalisé une revue systématique de l'effet de différentes thérapies de traitement de la lésion médullaire au-dessus de T6 dans la fonction respiratoire. Ils ont trouvé que l'EMR augmentait la PIM mais que les résultats étaient peu concluants sur la PEM [45].

Les résultats de la présente revue montrent que l'EME augmente la PEM, mais il n'a pas été possible de déterminer quel outil est le plus efficace vu que les deux études ont utilisé le même système de renforcement.

Gounden 1990 a trouvé une augmentation de la PEM de 21,6 cmH₂O (IC95% 7,3 à 35,4) avec un outil de résistance passive au débit à 60% de la PEM, 30 répétitions, deux fois par jour, 5 à 6 fois par semaine pendant 6 à 8 semaines. Le protocole de Roth 2010 n'était pas bien décrit et l'augmentation de la PEM était de 7 cmH₂O (IC95% -17 à 31). Cependant, Gounden 1990 a comparé l'EME avec un groupe sans traitement, et Roth avec un groupe utilisant le même dispositif sans résistance (placebo).

L'effet de l'EMI sur la PEM est peu concluant. Seule une étude parmi les quatre, montre une augmentation de la PEM après l'entraînement inspiratoire, avec une taille de l'effet très importante. Par contre, les 3 autres études ne montrent pas d'effets en faveur de l'EMI. La taille de l'effet de West 2013 de 23 cm H₂O (IC95% -1,9 à 47,9) pourrait permettre d'affirmer, avec certaine prudence, que l'EMI augmente la PEM.

L'entraînement des muscles inspiratoires et expiratoires n'a pas eu de signification clinique sur la PEM (1cmH₂O) et le chant ne montre pas non plus des effets bénéfiques.

Cependant, selon la littérature, l'augmentation de la PIM reste la plus importante pour l'amélioration du mécanisme de la toux, à raison de son influence sur la phase inspiratoire de la toux [24,25].

4.1.1.5 L'entraînement d'endurance n'est pas très utilisé chez les sujets tétraplégiques

Seul une étude a utilisé l'entraînement d'endurance. Cette étude n'a pas trouvé des effets bénéfiques sur la PIM, et sur la PEM la taille de l'effet n'avait pas de signification clinique.

Van Houtte 2008 a évalué les effets de l'hyperpnée normocapnique chez des sujets paraplégiques et tétraplégiques. Il a trouvé que 8 semaines d'entraînement augmentaient la PIM [44]. Plus d'études sont nécessaires pour déterminer si le HN a plus d'effets bénéfiques que l'EMI, la dose et l'intensité nécessaire pour augmenter la force et l'efficacité de la toux chez les sujets tétraplégiques avec l'HN.

4.1.1.6 Les études évaluant les effets de l'EME sur la force musculaire respiratoire et la toux chez les tétraplégiques sont peu nombreuses

Seul deux articles ont évalué les effets de l'entraînement musculaire expiratoire sur la force musculaire et l'efficacité de la toux chez les sujets tétraplégiques. La même conclusion a été trouvée par l'étude de Templeman 2019. Cette revue systématique a analysé l'effectivité de

l'EME sur la force musculaire, la fonction pulmonaire et la toux chez différentes populations en trouvant uniquement une étude, celle de Roth 2010 [7].

4.1.1.7 *Les effets de l'EMR sur le DPT et les complications respiratoires ne sont pas évalués systématiquement chez les sujets tétraplégiques*

L'efficacité de la toux à travers du débit de pointe à la toux a été analysée dans une seule étude et l'EMR n'a pas montré des effets bénéfiques sur le DPT. Dans un article publié en 2020 en *Respiratory Care*, l'auteur présente le DPT comme un outcome « *important et établi dans la littérature, et de nouvelles preuves confirment son utilisation dans la recherche et la pratique clinique* » [27]. Cette mesure a été développée chez les sujets atteints de maladies neurologiques mais est actuellement décrite dans les consensus de la Société Respiratoire Européenne (*European Respiratory Society ERS*) et recommandée pour estimer l'efficacité de la toux [29].

Les résultats trouvés par Boswell-Ruys n'ont pas démontré une augmentation du DPT. Cependant, les valeurs de base et post intervention du groupe traité et du groupe placebo (en moyenne 270 L/min) ont été au-dessus du seuil d'inefficacité de la toux (160 L/min). En outre l'augmentation de la PIM, un des déterminants de l'efficacité de la toux, n'a pas été très importante (8,8 cmH₂O). Pour ces raisons, le DPT pourrait ne pas avoir augmenté significativement.

Mueller 2013 a évalué subjectivement la toux. Il a utilisé une échelle similaire à l'échelle numérique de la douleur de 0 à 10. Zéro était attribué à l'incapacité de tousser et se moucher et 10 quand c'était possible sans difficulté. Une différence d'un point a été trouvée au moment de comparer l'EMI de 6 semaines versus 6 semaines d'entraînement d'endurance avec HN, mais cette différence n'a pas une grande importance clinique.

L'entraînement respiratoire d'endurance d'hyperpnée normocapnique n'a pas montré des effets bénéfiques sur l'effectivité de la toux.

D'autre part, les complications respiratoires ont été évaluées dans une seule étude. Boswell-Ruys 2020 a fait un suivi des sujets traités par 6 semaines d'EMR, et ce durant 1 année après l'entraînement. Il a décrit que le groupe entraîné a eu moins de sujets avec hospitalisations de cause respiratoire ou radiographie concordant avec une pneumopathie, que le groupe contrôle (3 versus 10), mais la perte de sujets suivis a été supérieure à 15%.

4.2 **Applicabilité des résultats en pratique clinique**

L'augmentation de la force musculaire inspiratoire suite à un programme d'entraînement de renforcement des muscles inspiratoires avec valve au seuil de pression peut aller en moyenne jusqu'au 23 cmH₂O (IC95% -13,9 à 60,3) de plus que sans l'entraînement. La PIM étant un facteur crucial pour avoir une toux efficace, une augmentation de celle-ci représente aussi une amélioration de l'expulsion de sécrétions des voies aériennes.

En considérant qu'une valeur de la PIM inférieure à 80 cmH₂O représente une faiblesse des muscles inspiratoires, l'application d'un EMR peut aider à entretenir la fonction pulmonaire chez les sujets tétraplégiques, prévenir les complications respiratoires et la mortalité.

4.2.1 La population cible

Les articles analysés dans cette revue ont inclus des sujets adultes de 16 à 76 ans, atteints de lésion médullaire ASIA A, B ou C niveaux C4 à T1, en état aigu ou de chronicité, en majorité des hommes.

Ce niveau d'atteinte médullaire produit une paralysie des muscles expiratoires et une faiblesse des inspireurs, exposant aux risques de complications respiratoires.

En sus, d'un point de vue épidémiologique, la population adulte est la plus exposée à la lésion médullaire, 3 fois plus pour les hommes. Pour cette raison la population analysée est ciblée correctement dans cette étude.

4.2.2 Applicabilité de l'évaluation des muscles inspiratoires et de la toux

Dans un mémoire de fin d'étude réalisé en France en 2014, l'auteur a constaté que 55% des masseur-kinésithérapeutes déclarent pratiquer l'EMR avec leurs patients tétraplégiques. Les objectifs les plus décrits de l'EMR sont l'amélioration de la qualité de vie, l'augmentation de la CV et l'amélioration de l'efficacité de la toux. Pour autant, plus de la moitié des masseur-kinésithérapeutes utilisent la spirométrie incitative comme outil d'entraînement [58].

Parmi les kinésithérapeutes n'utilisant pas l'EMR (soit 45%), la raison principale justifiant cette décision est l'absence de matériel d'évaluation des muscles respiratoires [58].

Dans cette revue on a constaté que la plupart des protocoles d'évaluation utilisés sont faciles, reproductibles et accessibles soit en centre de rééducation soit au cabinet libéral. Le bilan de la force musculaire inspiratoire peut être réalisé par le kinésithérapeute et peut être coté comme un bilan respiratoire.

L'évaluation de la PIM nécessite certains instruments qu'il est possible d'acheter. La plupart du matériel est individuel pour chaque patient (embouchure, pince nasale, Nif-Tee®, tuyau d'oxygène, etc.). Le manomètre de pression positive est le matériel le plus cher à trouver, cependant dans certaines unités de réanimation, le manomètre utilisé pour mesurer la pression du ballonnet du tube endotrachéal peut le remplacer. La technique est à la fois facile et reproductible, et peut être mesurée sur des sujets ayant une trachéotomie.

L'évaluation du DPT est encore plus facile à mettre en place au cabinet. Un débitmètre de pointe peut être utilisé. En effet, le même appareil qui est utilisé pour évaluer le débit expiratoire de pointe chez les sujets asthmatiques peut évaluer l'efficacité de la toux. Une étude publiée en 2019 a décrit que l'utilisation d'un débitmètre digital est valide pour mesurer le DPT [59]. La technique d'évaluation nécessite l'exécution d'une toux volontaire, donc un niveau cognitif de compréhension de consignes est requis.

4.2.3 Applicabilité de l'entraînement musculaire inspiratoire

Une fois obtenue la PIM, la charge d'entraînement peut être calculée avec 70% ou 80% de la PIM. Les outils d'entraînement de valve au seuil de pression ne sont pas remboursés par la Sécurité Sociale en France, mais les prix sont variés et accessibles.

L'entraînement peut être effectué par le patient soit pendant sa séance de kinésithérapie, dans le cas des patients en état aigu ou avec besoin de contrôle de constantes, soit chez lui avec un cahier d'entraînement.

La motivation, la discipline d'entraînement ou l'aide d'un tiers sont des facteurs qui peuvent être un facilitateur ou une barrière selon les facteurs individuels du patient. En tout cas, ils doivent être considérés à l'heure de mettre en place un programme d'EMI avec valve au seuil de pression.

4.2.4 Le seuil clinique

Le fait que 60% des articles de cette revue ont eu une augmentation de la PIM de plus de 10cmH₂O a une importance clinique. Selon l'étude de Postma 2015, une augmentation de 10 cmH₂O de la force de muscles inspiratoires est associée à une augmentation de 19,2 L/min dans l'efficacité de la toux mesurée avec le DTP [46]. Cette augmentation de la PIM se traduit dans une augmentation de l'efficacité de la toux, et en conséquence, à la fois, une amélioration de la clearance pulmonaire et une réduction des complications lors d'une infection respiratoire.

Les résultats obtenus ont comparé l'EMI versus un groupe placebo, un groupe avec un traitement alternatif (HN ou poids abdominal) ou un groupe sans l'EMI mais avec les soins habituels.

Le meilleur effet a été trouvé lors de la comparaison de l'EMI versus un traitement alternatif ou versus un groupe placebo. Loveridge 1989 a comparé l'EMI avec un groupe sans traitement et n'a pas trouvé d'effets bénéfiques sur la PIM lors de la comparaison intergroupes post intervention. Cela est dû au fait que les deux groupes ont augmenté la PIM. Les auteurs ont conclu que l'augmentation de la PIM chez le groupe contrôle était provoquée par les tests d'évaluation respiratoires effectués toutes les deux semaines.

4.3 Qualité des preuves

Seul deux études sur neuf ont eu un score PEDro supérieur à 7. La plupart des études ont des limites méthodologiques qui peuvent compromettre leurs résultats et aussi ceux de cette revue. Il a été observé que les études avec les scores les plus élevés (Boswell-Ruys 2020 et Tamplin 2013) ont été publiées après 2013 et ont des échantillons de plus grande taille. La taille de l'effet de ces deux études était à faveur de l'EMR sur l'augmentation de la PIM de 8,8 cmH₂O (IC95% de -2,7 à 20,31) et 13,6 cmH₂O (IC95% de -6,38 à 33,58) respectivement.

L'étude de meilleure qualité méthodologique est celle de Boswell-Ruys 2020. Ils ont démontré une augmentation de la PIM lors de l'entraînement musculaire inspiratoire et expiratoire. La taille de l'effet a été la plus basse par rapport aux autres études qui ont eu des effets en faveur de l'EMR. Cela peut être dû au fait qu'ils ne se sont entraînés que 6 semaines avec 30% de PIM, peut-être que de meilleurs résultats auraient pu être trouvés à 8 semaines et avec une charge d'entraînement plus élevée (70% à 80% de la PIM).

Tous les ECR ont assigné aléatoirement les sujets, des similitudes de base ont été décrites et des comparaisons intergroupes ont été réalisées.

Les études analysées dans cette revue ont plusieurs limites méthodologiques, telles que la petite taille de l'échantillon, l'hétérogénéité de l'échantillon et la cécité des thérapeutes, des évaluateurs et des participants. Les biais plus importants sur l'échelle PEDro ont été trouvés lors de l'assignation secrète, et de la performance ou l'évaluation.

En raison de la faible quantité d'études existantes, tous les articles ont été analysés dans cette revue, malgré le fait que les cotations sur l'échelle PEDro de 80% des études soient comprises entre 3 et 6. Cela peut affecter la qualité des résultats présentés dans cette étude.

Par rapport au niveau de qualité de données scientifiques en utilisant le système GRADE [60], si toutes les études sont des ECR, la majorité présente des risques de biais et d'hétérogénéité des résultats (écarts type trop larges) qui réduisent le niveau de qualité des résultats. Malgré les essais des auteurs d'augmenter la qualité de leurs études, le niveau de qualité et de recommandation de l'utilisation de l'EMI avec valve de seuil de pression afin d'augmenter la PIM et l'efficacité de la toux chez les sujets tétraplégiques restent faibles.

Si le niveau GRADE est de faible qualité, le rapport bénéfices – inconvénients ainsi que le coût de l'utilisation de l'EMI avec valve au seuil de pression penchent vers les bénéfices. Pourtant l'EMI semble être une alternative plausible pour améliorer la force musculaire inspiratoire et l'efficacité de la toux chez les sujets tétraplégiques niveaux C4 à T1.

4.4 Biais potentiels de la revue

Au regard du faible nombre d'études analysées, cette revue présente des limites. Seul neuf articles impliquant la population cible ont été trouvés. En outre, une faible qualité méthodologique a été observée dans la plupart des études.

Quand les données n'ont pas été trouvées dans l'article, une recherche à travers d'autres revues a été nécessaire pour calculer la taille de l'effet et l'intervalle de confiance afin de comparer la même mesure dans toutes les publications. Si lesdites données n'avaient pas été trouvées, une prise de contact avec les auteurs aurait été rendue nécessaire.

Toutes les études contenant les critères d'inclusion ont été utilisées dans l'analyse statistique de cette revue. Cela implique les études avec une qualité méthodologique limitée et un haut risque de biais, compromettant les estimations que les résultats décrits ci-dessus peuvent avoir.

4.4.1 Qualité méthodologique de la revue

S'agissant de l'évaluation de la qualité méthodologique des revues systématiques, la grille AMSTAR2 a été appliquée pour résumer les potentiels biais de la revue (Annexe 8) [61].

Un niveau de qualité modéré a été trouvé par la grille AMSTAR 2. Une des principales limites repose sur la sélection des études et sur l'extraction des données. Ces dernières ont été effectuées par une seule personne, et ce en raison des conditions de réalisation du présent mémoire.

En outre, les sources de financement et les conflits d'intérêt n'ont pas été déterminés pour tous les articles. Trois articles ont déclaré l'origine de sources et les six autres n'ont pas mentionné de possibles conflits d'intérêts.

Avec les données analysées, la taille de l'effet et l'intervalle de confiance ont été calculés pour estimer l'efficacité des différents types et outils d'entraînement musculaire respiratoire comparé avec un groupe placebo, un groupe avec un traitement alternatif ou sans EMR (soins habituels) post intervention. Cependant les tests statistiques nécessaires pour rendre cette revue systématique dans une méta-analyse n'ont pas été calculés à cause de la diversité des programmes et outils d'entraînement, et du faible nombre d'étude. Les épreuves *Chi2*, *I2* ou *df* pourraient avoir été utiles pour déterminer l'hétérogénéité, le test Z pour l'effet global (*overall effect*) et enfin le poids de chaque étude.

Pour les autres critères de la grille, la revue présentée a considéré dans sa méthodologie une analyse détaillée des composants PICO, un protocole d'étude clair, une recherche exhaustive d'articles, des descriptions des articles exclus et inclus et l'analyse de risque de biais avec l'échelle PEDro.

5 Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

La lésion de la moelle épinière est un problème de santé publique en France et la moitié des patients atteints d'une LME sont tétraplégiques.

L'atteinte motrice affecte les muscles respiratoires entraînant un syndrome restrictif et un faible mécanisme de la toux. Plus haut est le niveau de lésion médullaire, plus importante est l'atteinte respiratoire. Pour cette raison, les complications respiratoires sont la principale cause de mortalité de ces patients.

Des revues précédentes ont démontré que l'entraînement musculaire respiratoire permet d'augmenter la force des muscles respiratoires principaux, quand il est possible, ou des muscles accessoires quand la paralysie est totale.

Au travers de cette revue systématique, il a été possible de déterminer que l'entraînement musculaire respiratoire, et notamment des muscles inspiratoires, a des effets bénéfiques sur la force inspiratoire chez les sujets tétraplégiques. Les outils d'entraînement de renforcement avec valve au seuil de pression semblent être très utiles pour cet effet.

L'efficacité de la toux n'a été évaluée à travers du débit de pointe à la toux que dans une seule étude. Les résultats ne montrent pas un effet favorable de l'EMI sur le DPT. Cependant, il est déjà largement décrit dans la littérature qu'une augmentation de la PIM est associée à une augmentation du DTP lorsque cette augmentation est supérieure à 10 cmH₂O [46].

Les risques de biais des études incluses, la faible qualité méthodologique des articles, et la qualité AMSTAR2 modérée de cette revue, impliquent un niveau d'épreuve GRADE faible. Les résultats trouvés doivent être considérés avec prudence.

L'évaluation et l'entraînement des muscles respiratoires et la toux sont des alternatives applicables dans le contexte clinique.

Les évaluations de la PIM, la PEM et le DPT sont des manœuvres faciles et pas chères à réaliser soit en centre de rééducation, soit en cabinet. Ce bilan nous donne une information sur la force des muscles respiratoires et la toux, et sur l'évolution lors d'un programme d'entraînement musculaire respiratoire. Elles sont très importantes pour la prévention de complications respiratoires secondaires à l'atteinte motrice chez les patients atteints de lésion médullaire cervicale.

L'entraînement musculaire respiratoire avec valve au seuil de pression peut être mis en place chez des sujets en état aigu ou chronique, avec trachéotomie ou sans voie aérienne artificielle.

Malgré le manque d'études, l'intensité d'entraînement la plus utilisée est 70% à 80% de la PIM, en séances de 10 minutes, deux fois par jour, cinq jours par semaine, pendant six semaines.

L'entraînement peut être effectué en centre de rééducation, au cabinet ou chez le patient et, sauf conditions dans lesquelles le patient doit être monitoré, peut être appliqué par le patient sans besoin de supervision d'un kinésithérapeute.

5.2 Implication pour la recherche

Davantage d'études, à plus grande échelle et avec une meilleure qualité méthodologique sont nécessaires pour examiner l'efficacité des différents types d'entraînement musculaire respiratoire sur la force musculaire respiratoire et sur la toux chez les sujets tétraplégiques niveaux C4 à T1.

Une méta-analyse peut aussi déterminer avec un meilleur niveau d'épreuve les résultats trouvés dans cette revue.

Dans cette revue, il n'a pas été possible de déterminer l'intensité et le temps de traitement les plus efficaces pour améliorer la toux et la force musculaire respiratoire vu l'hétérogénéité des protocoles utilisés dans les articles de cette étude. Des nouvelles recherches dans ce domaine pourraient nous aider à établir l'intensité, et surtout le temps de traitement les plus efficaces.

Il serait même intéressant de déterminer si la PIM peut augmenter progressivement après plusieurs semaines de traitement, s'il y a un comportement linéaire, ou à quel moment elle atteint un niveau plateau, afin de préciser le rapport coût-bénéfice de ce type d'entraînement.

Le maintien dans la durée des effets de l'EMI sur la force des muscles inspiratoires doit être aussi sujet à de nouvelles recherches.

Finalement, plus d'études utilisant le DPT pour évaluer l'efficacité de la toux, et le suivi par rapport aux complications respiratoires chez les sujets tétraplégiques sont nécessaires.

L'auteur de cette revue déclare ne pas avoir de conflits d'intérêt. Aucun financement n'a été nécessaire pour la réalisation de cette étude.

6 Références bibliographiques

- [1] Organisation Mondiale de la Santé. Lésions de la Moelle épinière - Perspectives Internationales. vol. 66. 2014.
- [2] Harvey LA. Physiotherapy rehabilitation for people with spinal cord injuries. *J Physiother* 2016;62:4–11. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.11.004>.
- [3] Sezer N, Akkuş S, Uğurlu FG. Chronic complications of spinal cord injury. *World J Orthop* 2015;6:24–33. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i1.24>.
- [4] Van Houtte S, Vanlandewijck Y, Gosselink R. Respiratory muscle training in persons with spinal cord injury: A systematic review. *Respir Med* 2006;100:1886–95. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2006.02.029>.
- [5] Lemos J, da Cuna F, Lopes A, Guimaraes F, do Amaral Vasconcellos F, Dos Santos Vigario P. Respiratory muscle training in non-athletes and athletes with spinal cord injury : A systematic review of the effects on pulmonary function, respiratory muscle strength and endurance, and cardiorespiratory fitness based on the FITT pinciple of exercise pr. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2019;1:1–13. <https://doi.org/10.3233/BMR-181452>.
- [6] Tamplin J, Berlowitz DJ. REVIEW A systematic review and meta-analysis of the effects of respiratory muscle training on pulmonary function in tetraplegia. *Spinal Cord* 2014;175–80. <https://doi.org/10.1038/sc.2013.162>.
- [7] Templeman L, Roberts F. Effectiveness Of Expiratory Muscle Strength Training On Expiratory Strength, Pulmonary Function And Cough In The Adult Population: A Systematic Review. *Physiotherapy* 2019. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2019.06.002>.
- [8] Berlowitz D, Tamplin J. Respiratory muscle training for cervical spinal cord injury. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;2013. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008507.pub2>.
- [9] Snell RS. *Neuroanatomia Clinica*. 7ème. Barcelona (España): 2010.
- [10] https://www.researchgate.net/publication/334730563_Exploration_du_processus_d%27evaluation_cognitive_des_evenements_de_vie_des_competences_emotionnelles_et_de_la_sante_mentale_d%27hommes_tout-venant_une_contribution_a_l%27etablissement_de_normes_longitudi n.d.
- [11] http://corpshumain.ca/Moelle_epi.php n.d.
- [12] North American Spine Society. *Spinal Cord Injury*. Burr Ridge, IL, USA: n.d.
- [13] Rekand T, Merete Hagen E, Gronning M. Chronic pain following spinal cord injury.

- Tidsskr Nor Legerforen 2012;974–9. <https://doi.org/doi:10.4045/tidsskr.11.0794>.
- [14] De Morand A. Pratique de la rééducation neurologique. 2010.
- [15] HAS. Paraplégie (lésions médullaires). Ann Réadaptation Médecine Phys 2007;44:388–92. [https://doi.org/10.1016/s0168-6054\(01\)00123-4](https://doi.org/10.1016/s0168-6054(01)00123-4).
- [16] Albert T, Ravaud J. Rehabilitation of spinal cord injury in France : a nationwide multicentre study of incidence and regional disparities. Spinal Cord 2005;43:357–65. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101717>.
- [17] Roberts TT, Leonard GR, Cepela DJ. Classifications In Brief : American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale. Clin Orthop Relat Res 2017;475:1499–504. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-5133-4>.
- [18] Schilero GJ, Spungen AM, Bauman WA, Radulovic M, Lesser M. Pulmonary function and spinal cord injury. Respir Physiol Neurobiol 2009;166:129–41. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2009.04.002>.
- [19] Arora S, Flower O, Murray NP, B LB. Respiratory care of patients with cervical spinal cord injury: a review. Crit Care Resusc 2012;14:64–73. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2017.06.008>.
- [20] Bauman WA, Korsten MA, Radulovic M, Schilero GJ, Wecht JM, Spungen AM. Secondary Medical Consequences of Spinal Cord Injury. Top Spinal Cord Inj Rehabil 2012;18:354–78. <https://doi.org/10.1310/sci1804-354>.
- [21] Tollefsen E, Fondenes O. Respiratory complications associated with spinal cord injury. Tidsskr Nor Legeforen 2012. <https://doi.org/10.4045/tidsskr.10.0922>.
- [22] Servera E, Sancho J. Tos y enfermedades neuromusculares . Manejo no invasivo de las secreciones respiratorias. Arch Bronconeumol 2003;39:418–27. [https://doi.org/10.1016/S0300-2896\(03\)75418-0](https://doi.org/10.1016/S0300-2896(03)75418-0).
- [23] Torres-Castro R, Monge G, Vera R, Puppo H, Céspedes J, Vilaró J. Therapeutic strategies to increase the effectiveness of cough. Rev Med Chil 2014;142:238–45. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872014000200014>.
- [24] Tzeng AC, Bach JR. Prevention of Pulmonary Morbidity for Patients With Neuromuscular Disease *. Chest 2000;118:1390–6. <https://doi.org/10.1378/chest.118.5.1390>.
- [25] Kang SW, Shin JC, Park CI, Moon JH, Rha DW, Cho D. Relationship between inspiratory muscle strength and cough capacity in cervical spinal cord injured patients. Spinal Cord 2006;242–8. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101835>.
- [26] Wang AY, Jaeger RJ, Yarkony GM, Turba RM. Cough in spinal cord injured patients : the relationship between motor level and peak expiratory flow. Spinal Cord 1997:299–302. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3100370>.
- [27] Kulnik ST, Lewko A, Macbean V, Spinou A. Accuracy in the assessment of cough peak flow: Good progress for a “work in progress.” Respir Care 2020;65:133–4.

<https://doi.org/10.4187/respcare.07454>.

- [28] Umayahara Y, Soh Z, Sekikawa K, Kawae T, Otsuka A, Tsuji T. Estimation of cough peak flow using cough sounds. *Sensors (Switzerland)* 2018;18:1–13. <https://doi.org/10.3390/s18072381>.
- [29] Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J* 2019;53. <https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>.
- [30] Sancho J, Servera E, Díaz J, Marín J. Comparison of peak cough flows measured by pneumotachograph and a portable peak flow meter. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83:608–12. <https://doi.org/10.1097/01.PHM.0000133431.70907.A2>.
- [31] Gibson GJ, Whitelaw W, Siafakas N, Supinski GS, Fitting JW, Bellemare F, et al. 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>.
- [32] Sapienza CM, Ph D, Wheeler K, Ph D. Respiratory Muscle Strength Training : Functional Outcomes versus Plasticity. *Semin Speech Lang* 2006;1:236–44. <https://doi.org/10.1055/s-2006-955114>.
- [33] Sapienza C, Troche M, Pitts T, Davenport P. Respiratory strength training: Concept and intervention outcomes. *Semin Speech Lang* 2011;32:21–30. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271972>.
- [34] Menzes K, Nascimento L, Avelino P, Polese J, Salmela L. A Review on Respiratory Muscle Training Device. *J Pulm Respir Med* 2018;8:1–7. <https://doi.org/10.4172/2161-105X.1000451>.
- [35] Geddes EL, Reid WD, Crowe J, O'Brien K, Brooks D. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease : A systematic review. *Respir Med* 2005;99:1440–58. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2005.03.006>.
- [36] Bustamante Madariaga V, Gáldiz Iturri JB, Gorostiza Manterola A, Camino Buey J, Talayero Sebastián N, Sobradillo Peña V. Comparación de 2 métodos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC. *Arch Bronconeumol* 2007;43:431–8. <https://doi.org/10.1157/13108782>.
- [37] <https://www.philips.es/healthcare/product/HCHS553/pflex-inspiratory-muscle-trainer> n.d.
- [38] <https://www.powerbreathe.com/product/powerbreathe-k-series/> n.d.
- [39] <https://www.philips.es/healthcare/product/HCHS730010/threshold-imt-entrenador-respiratorio> n.d.
- [40] Keramidis ME, Debevec T, Amon M, Mekjavic IB. Respiratory muscle endurance training : effect on normoxic and hypoxic exercise performance. *Eur J Appl Physiol* 2010;759–69. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1286-0>.
- [41] <https://www.iddiag.ch/produkt-uebersicht/> n.d.

- [42] Brooks D, Brien KO, Geddes EL, Crowe J, Reid WD. Is inspiratory muscle training effective for individuals with cervical spinal cord injury? A qualitative systematic review. *Clin Rehabil* 2005;237–46. <https://doi.org/10.1191/0269215505cr856oa>.
- [43] Sheel AW, Reid WD, Pt BMR, Townson AF, Ayas NT, Konnyu KJ, et al. Effects of Exercise Training and Inspiratory Muscle Training in Spinal Cord Injury : A Systematic Review. *J Spinal Cord Med* 2008;31:500–8. <https://doi.org/10.1080/10790268.2008.11753645>.
- [44] Houtte S Van, Vanlandewijck Y, Kiekens C, Christina M, Gosselink R. Patients with acute spinal cord injury benefit from normocapnic hyperpnoea training. *J Rehabil Med* 2008;119–25. <https://doi.org/10.2340/16501977-0140>.
- [45] Dahm K, Dalsbo T, Kirkehei I, Reinart L. Effect of respiratory muscle training for acute traumatic high spinal cord injury: a systematic review. *Natl Inst Public Heal Div Heal Serv* 2017.
- [46] Postma K, Vlemmix LY, Haisma JA, Groot S De, Sluis TAR, Stam HJ, et al. Longitudinal association between respiratory muscle strength and cough capacity in persons with spinal cord injury: an explorative analysis of data from a randomized controlled trial. *J Rehabil Med* 2015;722–6. <https://doi.org/10.2340/16501977-1986>.
- [47] <https://www.pedro.org.au/french/downloads/pedro-scale/> n.d.
- [48] GraphPad. <https://www.graphpad.com/> n.d.
- [49] West CR, Taylor BJ, Campbell IG, Romer LM. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in Paralympic athletes with cervical spinal cord injury. *Scand J Med Sci Sport* 2013;1–9. <https://doi.org/10.1111/sms.12070>.
- [50] Roth EJ, Stenson KW, Powley S, Oken J, Primack S, Nussbaum SB, et al. Expiratory Muscle Training in Spinal Cord Injury: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91:857–61. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.02.012>.
- [51] Derrickson J, Ciesla N, Simpson N, Imie CP. A Comparison of Two Breathing Exercise Programs for Patients with Quadriplegia. *Phys Ther* 1992;72:763–96. <https://doi.org/10.1093/ptj/72.11.763>.
- [52] Boswell-Ruys CL, Lewis CRH, Wijeyasuriya NS, McBain RA, Lee BB, McKenzie DK, et al. Impact of respiratory muscle training on respiratory muscle strength, respiratory function and quality of life in individuals with tetraplegia : a randomised clinical trial. *Thorax* 2020;1–10. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2019-213917>.
- [53] Tamplin J, Baker FA, Grocke D, Brazzale DJ, Pretto JJ, Ruehland WR, et al. Effect of Singing on Respiratory Function, Voice, and Mood After Quadriplegia : A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2013;94:426–34. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.10.006>.
- [54] Loveridge B, Badour M, Dubo H. Ventilatory Muscle Endurance Training in Quadriplegia : Effects on Breathing Pattern. *Paraplegia* 1989;27:329–39. <https://doi.org/10.1038/sc.1989.50>.

- [55] Gounden P. Progressive resistive loading on accessory expiratory muscles in tetraplegia. *Physiotherapy* 1990;46:4–16. <https://doi.org/10.4102/sajp.v46i4.778>.
- [56] Liaw M, Lin M, Cheng P, Wong MA, Tang F. Resistive Inspiratory Muscle Training : Its Effectiveness in Patients With Acute Complete Cervical Cord Injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81:752–6. <https://doi.org/10.1053/apmr.2000.5619>.
- [57] Mueller G, Hopman MTE, Perret C. Comparison of respiratory muscle training methods in individuals with motor and sensory complete tetraplegia: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med* 2013;45:248–53. <https://doi.org/10.2340/16501977-1097>.
- [58] Pautonnier E. L'entraînement des muscles respiratoires chez les patients tétraplegiques (Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute). Institut de formation en Masso-kinésithérapie de Rennes, 2014.
- [59] Gray LT, Plowman TVEK. Concordant Validity of a Digital Peak Cough Flow Meter to Assess Voluntary Cough Strength in Individuals with ALS. *Dysphagia* 2019. <https://doi.org/10.1007/s00455-019-10060-7>.
- [60] https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf n.d.
- [61] Shea B, Reeves B, 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. *BMJ* 2017;Sep 21:358. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>.
- [62] ASIA S. <https://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2019/01/ASIA-ISNCSCI-Final-French-Version-Jan-2019.pdf> n.d.
- [63] Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: Normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969;99:696–702. <https://doi.org/10.1164/arrd.1969.99.5.696>.

Liste des figures :

Figure 1 : Organisation longitudinale de la moelle épinière.

Figure 2 : Schéma transversal de la moelle épinière.

Figure 3 : Diagramme des niveaux d'innervation des muscles respiratoires.

Figure 4 : Mesure de la PIM.

Figure 5 : Outils d'entraînement musculaire respiratoire de force.

Figure 6 : Appareil d'EMR d'endurance.

Figure 7 : Diagramme de flux de sélection des études.

Figure 8 : Graphique Forest Plot de la taille de l'effet de l'EMR sur la PIM en cmH₂O (IC 95%).

Figure 9 : Graphique Forest Plot de la taille de l'effet de l'EMR sur la PEM en cmH₂O (IC 95%).

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Degré de déficience AIS du score ASIA.

Tableau 2 : Caractéristiques des études incluses.

Tableau 3 : Grille d'analyse « Echelle PEDro » pour chaque étude incluse.

Tableau 4 : Moyenne \pm SD de la PIM en cmH₂O pour le groupe traité (GT) et le groupe témoin (GC) post-intervention et la taille de l'effet.

Tableau 5 : Moyenne \pm SD de la PEM en cmH₂O pour le groupe traité (GT) et le groupe témoin (GC) post-intervention et la taille de l'effet.

Tableau 6 : Moyenne \pm SD du DPT L/min post-intervention de groupe traité (GT) et groupe témoin (GC) et taille de l'effet.

Tableau 7 : Taille de l'effet du change score de l'efficacité subjective de la toux.

Annexes

Annexe 1. Score ASIA

Cotation fonction musculaire

- 0 = paralysie totale
- 1 = contraction visible ou palpable
- 2 = mouvement actif dans son amplitude complète, sans pesanteur
- 3 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre pesanteur
- 4 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre résistance
- 5 = mouvement normal (dans son amplitude complète, contre résistance complète)
- NT = non testable (immobilisation, douleur, amputation, hypertonie sur > 50% amplitude du mouvement)

Cotation sensitive

- 0 = absente
- 1 = diminuée (appréciation partielle ou altérée, incluant hypershésie)
- 2 = normale
- NT = non testable

Fonctions musculaires non clés (facultatif)

Peut être utilisé pour attribuer un niveau moteur et différencier AIS B vs C

Mouvement	Racine
Epaule : flexion, extension, abduction, adduction, rotation interne et externe	C6
Coude : supination	
Coude : pronation	C8
Poignet : flexion	
Doigts : flexion, extension	C7
Pouce : flexion, extension, abduction dans le plan	
Doigts : flexion MCP	C8
Pouce : opposition, adduction et abduction dans le plan perpendiculaire à la paume	
Doigts : abduction de l'index	T1
Hanche : adduction	L2
Hanche : rotation externe	L3
Hanche : extension, abduction, rotation interne	L4
Genou : flexion	
Cheville : inversion et éversion	
Orteils : extension MTP et IP	
Hallux et Orteils : flexion et abduction	L6
IPP et IPD	
Hallux : adduction	S1

Echelle de déficience ASIA

A = Complet : aucune sensibilité ou motricité dans le territoire S4-S5.

B = Incomplet sensitif : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5.

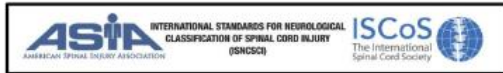
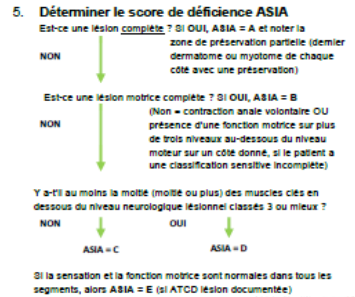
C = Incomplet moteur : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau a un score < 3 (motricité non fonctionnelle).

D = Incomplet moteur : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau a un score ≥ 3.

E = Normal : la sensibilité et la motricité sont normales. Il peut persister des anomalies des réflexes.

Etapes de la classification

- Déterminer les niveaux sensitifs pour les côtés droit et gauche.
Le niveau sensitif est le dernier dermatome sain pour la piqûre et le toucher.
- Déterminer les niveaux moteurs pour les côtés droit et gauche.
Défini par le dernier muscle clé coté ≥ 3, à condition que les muscles sus-jacents soient considérés intacts.
Note : dans les régions où il n'y a pas de myotome à tester, le niveau moteur est présumé être le même que le niveau sensoriel, si la fonction motrice testable au dessus de ce niveau est également normale.
- Déterminer le niveau lésionnel
Il s'agit de la partie la plus distale avec sensibilité intacte et force musculaire antigravitaire (≥ 3), pourvu qu'il y ait au-dessus respectivement une fonction normale. Le niveau lésionnel est la plus proximale des niveaux sensoriels et moteurs déterminés dans les étapes 1 et 2.
- Déterminer si la lésion est complète ou incomplète. (c'est à dire l'absence ou la présence d'épargne sacrée)
Si la contraction anale volontaire = Non ET tous scores sensoriels S4-S5 = 0 ET la pression anale profonde = Non, alors la lésion est considérée comme Complète. Sinon, la lésion est Incomplète.



Nom du patient _____ Date / heure de l'examen _____

Nom de l'examineur _____ Signature _____



DROITE			SENSITIF			MOTEUR			GAUCHE					
			POINTS SENSITIFS CLÉS						POINTS SENSITIFS CLÉS					
			Toucher (LTD)						Toucher (LTG)					
			Piqûre (PPD)						Piqûre (PPG)					
C2									C2					
C3									C3					
C4									C4					
C5	Flexion du coude								C5	Flexion du coude				
C6	Extension du poignet								C6	Extension du poignet				
C7	Extension du coude								C7	Extension du coude				
C8	Flexion du majeur								C8	Flexion du majeur				
T1	Abduction du 5ème doigt								T1	Abduction du 5ème doigt				
T2									T2					
T3									T3					
T4									T4					
T5									T5					
T6									T6					
T7									T7					
T8									T8					
T9									T9					
T10									T10					
T11									T11					
T12									T12					
L1									L1					
L2	Flexion de la hanche								L2	Flexion de la hanche				
L3	Extension du genou								L3	Extension du genou				
L4	Dorsiflexion de cheville								L4	Dorsiflexion de cheville				
L5	Extension du gros orteil								L5	Extension du gros orteil				
S1	Flexion plantaire de cheville								S1	Flexion plantaire de cheville				
S2									S2					
S3									S3					
S4-5									S4-5					
(VAC) Contraction Anale Volontaire (Oui / Non)									(VAC) Contraction Anale Volontaire (Oui / Non)					
TOTAL DROITE (MAXIMUM)	(50)	(56)							TOTAL GAUCHE (MAXIMUM)	(50)	(56)			
SCORES MOTEURS			SCORES SENSITIFS			SCORES SENSITIFS			SCORES SENSITIFS					
MSD	MSG	MS TOTAL	MID	MIG	MI TOTAL	LTD	LTG	LT TOTAL	PPD	PPG	PP TOTAL			
MAX (25)	MAX (25)		MAX (25)	MAX (25)		MAX (56)	MAX (56)	(112)	MAX (56)	MAX (56)	(112)			
NIVEAUX NEUROLOGIQUES		3. NIVEAU LÉSIONNEL		4. COMPLETE OU INCOMPLETE		5. SCORE DE DÉFICIENCE ASIA (AIS)		ZONE DE PRÉSERVATION PARTIELLE		SENSITIVE MOTRICE				
1. SENSITIF		D		G				D		G				
2. MOTEUR		D		G				D		G				

Ce formulaire peut être copié librement, mais ne peut pas être modifié dans la permission de l'American Spinal Injury Association. Radigue et de Crocy, 2018.

Figure 3. Score ASIA version en français [62]

Annexe 2. Valeurs théoriques de la PIM et PEM

Valeurs normales pour la pression respiratoire maximale. Pression en moyenne \pm SD [63]

		Pression (cm H2O)				
		Age (ans)				
Pression	Sexe	20-54	55-59	60-64	65-69	70-74
PIM	Homme	124 \pm 44	103 \pm 32	103 \pm 32	103 \pm 32	103 \pm 32
	Femme	87 \pm 32	77 \pm 26	73 \pm 25	70 \pm 26	65 \pm 26
PEM	Homme	233 \pm 84	218 \pm 74	209 \pm 74	197 \pm 74	185 \pm 74
	Femme	152 \pm 54	145 \pm 40	140 \pm 40	135 \pm 40	124 \pm 40

Annexe 3. Equations de recherche

Base de données	Equation de recherche	Total	ECR	incl	excl
Pubmed	((("breathing exercises"[MeSH Terms] OR ("breathing"[All Fields] AND "exercises"[All Fields]) OR "breathing exercises"[All Fields] OR ("respiratory"[All Fields] AND "muscle"[All Fields] AND "training"[All Fields]) OR "respiratory muscle training"[All Fields]) AND ("spinal cord injuries"[MeSH Terms] OR ("spinal"[All Fields] AND "cord"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "spinal cord injuries"[All Fields] OR ("spinal"[All Fields] AND "cord"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "spinal cord injury"[All Fields])) OR ((("breathing exercises"[MeSH Terms] OR ("breathing"[All Fields] AND "exercises"[All Fields]) OR "breathing exercises"[All Fields] OR ("respiratory"[All Fields] AND "muscle"[All Fields] AND "training"[All Fields]) OR "respiratory muscle training"[All Fields]) AND ("quadriplegia"[MeSH Terms] OR "quadriplegia"[All Fields] OR "tetraplegia"[All Fields]))	138	18	8	8
	((("breathing exercises"[MeSH Terms] OR ("breathing"[All Fields] AND "exercises"[All Fields]) OR "breathing exercises"[All Fields] OR ("respiratory"[All Fields] AND "muscle"[All Fields] AND "training"[All Fields]) OR "respiratory muscle training"[All Fields]) AND ("cough"[MeSH Terms] OR "cough"[All Fields])) AND ("quadriplegia"[MeSH Terms] OR "quadriplegia"[All Fields] OR "tetraplegia"[All Fields]))	12	2		
	((("breathing exercises"[MeSH Terms] OR ("breathing"[All Fields] AND "exercises"[All Fields]) OR "breathing exercises"[All Fields] OR ("respiratory"[All Fields] AND "muscle"[All Fields] AND "training"[All Fields]) OR "respiratory muscle training"[All Fields]) AND ("cough"[MeSH Terms] OR "cough"[All Fields])) AND ("spinal cord injuries"[MeSH Terms] OR ("spinal"[All Fields] AND "cord"[All Fields] AND "injuries"[All Fields]) OR "spinal cord injuries"[All Fields] OR ("spinal"[All Fields] AND "cord"[All Fields] AND "injury"[All Fields]) OR "spinal cord injury"[All Fields]))	20	1		
	((respiratory muscle training) AND cough) AND spinal cord injury	21	1		
	((respiratory muscle training) AND cough) AND tetraplegia	12	2		
	((respiratory muscle training) AND cough) AND quadriplegia	8	0		
Cochrane	respiratory muscle training tetraplegia	14	5		
	respiratory muscle training spinal cord injury	41	11		
	respiratory muscle training quadriplegia	17	17		
	respiratory muscle training cough quadriplegia	4	4		
PEDro	Respiratory muscle training spinal cord injury	20	10		
	respiratory muscle training tetraplegia	8	5	1	
	respiratory muscle training cough tetraplegia	1	0		
	respiratory muscle training cough quadriplegia	2	1		
	ventilatory training quadriplegia	1	1		
MEDES	((("entrenamiento"[todos]) AND "respiratorio"[todos]) AND "tetraplejia"[todos])	0	0		
	(("ejercicios respiratorios"[todos]) AND "tetraplejia"[todos])	0	0		
	(lesion[título] OR lesion[resumen] OR lesion[palabras_clave]) AND (medular[título] OR medular[resumen] OR medular[palabras_clave])	0	0		
Scielo	(spinal cord injury) AND (cough)	1	0		
	(spinal cord injury) AND (respiratory muscle training)	1	0		
	(respiratory) AND (muscle) AND (training) AND (tetraplegia)	0	0		
	(Entrenamiento muscular respiratorio) AND (tetraplejia)	0	0		

Trip data base	respiratory muscle training tetraplegia	106	4		
Kinedoc	(entraînement.tl) ET (musculaire.tl) ET (respiratoire.tl) ET (tétraplégie.tl)	2	0		
	(tétraplégie.tl) ET (respiratoire.tl)	61	0		

Annexe 4. Caractéristiques des études exclues

Etude	Critère d'exclusion
Xi 2019	Sujets non tétraplégiques
Kim 2017	Sujets non tétraplégiques
Postma 2014	Sujets non tétraplégiques
McBain 2013	Sujets non tétraplégiques
Litchke 2012	Sujets non tétraplégiques
Van Houtte 2008	Sujets non tétraplégiques
Litchke 2008	Sujets non tétraplégiques
Zupan 1997	Traitement avec stimulation électrique
Mueller 2008	Sujets non tétraplégiques

Annexe 5. Résumé des études incluses.

Boswell-Ruys 2020

Méthode	ECR Allocation aléatoire par une personne qui n'est pas impliquée dans la collecte ou le recrutement de données. Le programme Stata a été utilisé 1 :1 basé sur le score ASIA et le temps d'évolution de la blessure.
Population	62 sujets tétraplégiques C4 à C8 ASIA A, B ou C (4 femmes et 58 hommes). Age de 51.5± 14.3 le groupe traité et 55.7 ± 14.9 le groupe contrôle. Australie.
Interventions	Entraînement musculaire inspiratoire et expiratoire vs placebo. Le groupe traité a effectué un EMI de 3 à 7 séries de 12 répétitions avec une Threshold IMT, après 2 minutes de pause, la même charge de travail pour réaliser un EME avec Threshold. Deux séances par jour, 5 fois par semaine pendant 6 semaines. Le groupe placebo a effectué le même traitement mais avec des outils Threshold fictif d'apparence identique au dispositif actif. Tous les appareils avaient l'apparence d'une résistance modifiée en fonction de la force respiratoire des participants, mais la résistance des appareils factices n'a pas changé.
Outcomes	PIM Fonction pulmonaire : CI, CV, CVF, VEMS1, CPT DEP PEM Complications respiratoires pendant une année post intervention. Questionnaire SGRQ Qualité de vie : SF-36, EQ-5D VAS.
Biais	PEDro 10/10. Faible risque de biais. Source de financement déclarée.

Tamplin 2013

Méthode	ECR Allocation aléatoire par blocs stratifiée en fonction des antécédents de trachéotomie, généré par ordinateur.
Population	24 participants tétraplégiques niveaux C4 à C8 ASIA A ou B. Age du groupe traité 44±15, et du groupe contrôle 47±13. Australie.
Interventions	Entraînement à travers du chant vs soins habituels. Le groupe traité a effectué des séances d'une heure de chant incluant des exercices respiratoires et vocales avec des chansons connues, trois fois par semaine pendant 12 semaines. Le groupe placebo a effectué l'appréciation musicale seule en séances identiques.
Outcomes	Fonction pulmonaire : CVF, VEMS1, Tiffeneau, CI, CPT, CFR, VR PIM PEM SNIP

	EMG Intensité de la voix et la capacité à la soutenir dans le temps Questionnaire Voice Handicap index, POMS, Assessment of quality of life.
Biais	Participants et thérapeutes n'étaient pas aveugles. Pedro 8 / 10. Faible risque de biais. Conflits d'intérêts non déclarés.

Mueller 2013

Méthode	ECR
Population	24 sujets tétraplégiques niveaux C4 à C8 ASIA A (6 femmes et 18 hommes), moyenne d'âge 41.6±17 pour le groupe placebo, 33.5±11.7 pour le groupe HN et 35.2±12.7 pour le groupe EMI. Suisse
Interventions	Entraînement musculaire inspiratoire vs Hyperpnée Normocapnique vs Placebo. Le groupe traité avec EMI s'est entraîné avec Respifit®, 90 répétitions à 80% de la FIM. 4 sessions de 10 min par semaine, durant 8 semaines. Le groupe entraîné avec HN a utilisé Spirotriger® à 40 – 50% de la VVM en séances de 10 minutes, 4 fois par semaine durant 8 semaines. Le groupe placebo a utilisé la spirométrie incitative avec Voldyng® 16 fois avec 30 - 40 secondes de pause entre chaque répétition, 4 fois par semaine durant 8 semaines.
Outcomes	Fonction pulmonaire : CPT, VR, VRE, CV, VEMS1, VVM, DEP. PIM et PEM. Intensité de la voix et la capacité à la soutenir dans le temps. Efficacité subjective de la toux. Questionnaire SF-12 Mobilité du thorax
Biais	Biais d'allocation. Participants, thérapeutes et évaluateurs n'étaient pas aveugles. Biais d'attrition : 2 décrocheurs signalés PEDro 5/10. Conflits d'intérêts non déclarés.

West 2013

Méthode	ECR placebo Les participants ont été jumelés par classification IWRP, puis chaque membre de la paire a été assigné au hasard à un groupe expérimental (IMT) ou à un groupe placebo. Angleterre.
Population	12 sujets tétraplégiques sportifs niveaux C4 à C7 ASIA A ou B (1 femme et 9 hommes), moyenne d'âge ±SEM : 27.9±2.8 pour le groupe placebo et 30.5±2.2 pour le groupe avec EMI. Angleterre.
Interventions	Entraînement musculaire inspiratoire vs Placebo. Le groupe traité avec EMI s'est entraîné avec PowerBreathe®, 30 répétitions à 50 ou 60% de la PIM, 2 fois par jour, 5 jours par semaine, durant 6 semaines. Le groupe placebo a utilisé un inhalateur placebo HFA® durant 6 semaines.
Outcomes	Fonction pulmonaire : VEMS1, CVF, DEP, DIP, VVM. PIM et PEM. Epaisseur du diaphragme Réponse à l'exercice : ventilation minute, VC, FR, VO2 et VCO2, FC.
Biais	Biais d'allocation. Participants, thérapeutes et évaluateurs n'étaient pas aveugles. Biais d'attrition et suivi : 2 décrocheurs signalés, analyse de l'intention de traiter peu claire. PEDro 4/10. Haut risque de biais. Source de financement déclarée.

Roth 2010

Méthode	ECR placebo Allocation aléatoire par nombre de dossiers médicaux.
Population	29 sujets tétraplégiques niveaux C4 à T1 ASIA A (7 femmes et 22 hommes), moyenne d'âge ±SD pour le groupe traité de 31.1±12.4 ans et pour le groupe placebo de 29.9±9.6 ans. Etats Unis.
Interventions	Entraînement musculaire expiratoire vs Placebo. Le groupe traité avec EME a entraîné avec Boering inspiratory 4101® 10 répétitions, 2 fois par jour, 5 jours par semaine, durant 6 semaines. Le groupe placebo a utilisé le même appareil sans résistance durant 6 semaines.
Outcomes	PIM et PEM. Fonction pulmonaire : CVF, VEMS1, VRE, CI, CPT, VR.
Biais	Biais d'allocation. Participants et thérapeutes n'étaient pas aveugles. Biais d'attrition et suivi : résultats publiés avec 29 des 52 sujets recrutés. PEDro 6/10. Conflits d'intérêts non déclarés.

Liaw 2000

Méthode	ECR
Population	20 sujets tétraplégiques niveaux C4 à C7 ASIA A (4 femmes et 16 hommes), âgés entre 16 et 52 ans. Taiwan.
Interventions	Entraînement musculaire inspiratoire vs soins habituels. Le groupe traité avec EMI s'est entraîné avec IMT DHD® 15 à 20 min par session, 2 fois par jour, 7 jours par semaine, durant 6 semaines. Le groupe contrôle a utilisé le même appareil sans résistance durant 6 semaines.
Outcomes	PIM et PEM. Fonction pulmonaire : CVF, VEMS1, DEP, CV, CPT, VR. Dyspnée (échelle de Borg)
Biais	Biais d'allocation et randomisation peu claire. Participants, thérapeutes et évaluateurs n'étaient pas aveugles. Biais d'attrition et suivi : 30 sujets recrutés mais 20 ont été publiés (perte de 33%). PEDro 4/10. Haut risque de biais. Conflits d'intérêts non déclarés.

Derrickson 1992

Méthode	ECR Les sujets ont été assignés en utilisant une table de nombres aléatoires.
Population	11 sujets tétraplégiques niveaux C4 à C7 ASIA A (2 femmes et 9 hommes), âgés entre 16 et 41 ans. Etats Unis.
Interventions	Entraînement musculaire inspiratoire vs Entraînement avec poids abdominal. Le groupe traité avec EMI a entraîné avec IMT DHD® 15 minutes par session, 3 fois par jour, 5 jours par semaine, durant 7 semaines. Le groupe avec le poids abdominal s'est entraîné allongé avec des disques de 0.23 kg sur l'abdomen durant 7 semaines. La charge de poids était déterminée par la capacité de réaliser une inspiration avec la CI normal de chaque sujet.
Outcomes	PIM Fonction pulmonaire : CVF, VVM, DEP, CI.
Biais	Biais d'allocation et randomisation peu claire. Participants, thérapeutes et évaluateurs n'étaient pas aveugles. Biais d'attrition et suivi : 30 sujets recruté mais 20 ont été publiées (perte du 33%). PEDro 3/10. Haut risque de biais. Conflits d'intérêts non déclarés.

Gounden 1990

Méthode	ECR
Population	40 sujets tétraplégiques niveaux C5 à C7 ASIA A et B (8 femmes et 32 hommes), âgés entre 16 et 64 ans. Afrique du Sud.
Interventions	Entraînement musculaire expiratoire vs soins habituels. Le groupe traité avec EME s'est entraîné avec PFLEX® à 60% de la PEM en séances de 5 à 8 minutes, 5 fois par jour, 6 jours par semaine, durant 8 semaines.
Outcomes	PIM et PEM CV
Biais	Biais d'allocation. Participants, thérapeutes et évaluateurs n'étaient pas aveugles. Biais d'attrition : perte de l'échantillon non référée. PEDro 5/10. Conflits d'intérêts non déclarés.

Loveridge 1989

Méthode	ECR
Population	12 sujets tétraplégiques niveaux C6 à C7 ASIA A et B, âgés entre 22 et 49 ans. Canada.
Interventions	Entraînement musculaire inspiratoire vs soins habituels. Le groupe traité avec EMI s'est entraîné avec un système Threshold développé par eux même, à 85% de la SIP en séances de 15 minutes, 2 fois par jour, 5 jours par semaine, durant 8 semaines.
Outcomes	PIM SIP Fonction pulmonaire : CPT, VR, CVF, CI, FR.
Biais	Biais d'allocation. Participants, thérapeutes et évaluateurs n'étaient pas aveugles. Biais d'attrition : perte de l'échantillon non reportée. PEDro 4/10. Source de financement déclarée.

Annexe 6. Position d'évaluation de la PIM et la PEM dans les études incluses.

ARTICLE	Mesure	Position	Appareil	Rép	Considérés	Enregistré
Boswell-Ruys 2020	PIM PEM	Assise	Hyp'air	3	2 avec 5%	La plus haute
Tamplin 2013	PIM PEM	Assise	Micro medical micro RPM	6	2 avec 10%	La plus haute
Mueller 2013	PIM PEM	Assise	Micro medical micro RPM	5	2 avec 5%	La plus haute
West 2013	PIM PEM	Assise	Micro medical micro RPM	10	3 avec 10%	La plus haute
Roth 2010	PIM PEM	Assise	Manomètre Boehringer	3	3	La plus haute
Liaw 2000	PIM PEM	Assise	Micro medical pressure meter	NR	2 biens faites	La plus haute
Derrickson 1992	PIM	Allongée	Manomètre Boehringer	NR	NR	NR
Gounden 1990	PEM	Assise ou allongée	Expiratory force meter (manomètre)	3	3	Moyenne
Loveridge 1989	PIM	Assise	Validyne pressure transducer	10 fois	3 avec 5%	Moyenne de 3

Annexe 7. T test non apparié de la différence intergroupe de la PIM et la PEM pré-traitement.

	PIM avant l'intervention				PEM avant l'intervention			
	GT	GC	<i>p value</i>	diff signif	GT	GC	<i>p value</i>	diff signif
Boswell-Ruys 2020	48.4±22.6	51.5±19.7	0,4883	non	32.8±18.2	33.2±14.0	0,9228	non
Tamplin 2013	83.54±23.07	77.9±26.38	0,5818	non	73.31±30.29	92.55±35.63	0,1666	non
Mueller 2013 A	66.1±30.6	69.4±20.4	0,8033	non	55.5±30.4	61.8±39.6	0,7265	non
Mueller 2013 B	69.4±29.9	69.4±20.4	1	non	58.8±20.4	61.8±39.6	0,8517	non
Mueller 2013 C	66.1±30.6	69.4±29.9	0,8304	non	55.5±30.4	58.8±20.4	0,8025	non
West 2013	121±17	122±12	0,9114	non	78±19	72±16	0,5829	non
Roth 2010	47	51.00	décrit	non	63	51	décrit	non
Liaw 2000	45.4±10.3	50.9±14.0	0,3302	non	27.8±4.7	28.4±5.0	0,7853	non
Derrickson 1992	34.83±17.0	20.80±13.0	0,1655	non	-	-	-	-
Gounden 1990	-	-	-	-	43.75±21.48	44.2±20.29	0,9533	non
Loveridge 1989	72.3±17.3	81.7±21.9	0,4286	non	-	-	-	-

Annexe 8. AMSTAR 2 Grille d'évaluation de la qualité méthodologique des revues systématiques.

Article Name:

L'EMR CHEZ LES SUJETS TÉTRAPLÉGIQUES

L'EMR CHEZ LES SUJETS TÉTRAPLÉGIQUES is a Moderate quality review

1. Did the research questions and inclusion criteria for the review include the components of PICO? Yes

Yes

Yes

Yes

Yes

2. Did the report of the review contain an explicit statement that the review methods were established prior to the conduct of the review and did the report justify any significant deviations from the protocol?	Partial Yes Yes	Yes Yes Yes
3. Did the review authors explain their selection of the study designs for inclusion in the review?	Yes Yes	
4. Did the review authors use a comprehensive literature search strategy?	Partial Yes Yes Yes Yes	Yes
5. Did the review authors perform study selection in duplicate?	No	
6. Did the review authors perform data extraction in duplicate?	No	
7. Did the review authors provide a list of excluded studies and justify the exclusions?	Yes	
8. Did the review authors describe the included studies in adequate detail?	Yes Yes Yes Yes Yes Yes Yes Yes Yes Yes	
9. Did the review authors use a satisfactory technique for assessing the risk of bias (RoB) in individual studies that were included in the review?		
RCT	Yes	
NRSI	0 Yes Yes Yes Yes	
10. Did the review authors report on the sources of funding for the studies included in the review?	No	
11. If meta-analysis was performed did the review authors use appropriate methods for statistical combination of results?		
RCT	0	
NRSI	0	
12. If meta-analysis was performed, did the review authors assess the potential impact of RoB in individual studies on the results of the meta-analysis or other evidence synthesis?	0	
13. Did the review authors account for RoB in individual studies when interpreting/ discussing the results of the review?	Yes Yes	
14. Did the review authors provide a satisfactory explanation for, and discussion of, any heterogeneity observed in the results of the review?	Yes Yes	

15. If they performed quantitative synthesis did the review authors carry out an adequate investigation of publication bias (small study bias) and discuss its likely impact on the results of the review? Yes
Yes

16. Did the review authors report any potential sources of conflict of interest, including any funding they received for conducting the review? Yes
Yes
Yes

Abstract

Contexte : La lésion de la moelle épinière (LME) au niveau cervical entraîne une paralysie totale ou partielle des muscles inspiratoires ou expiratoires. Cette atteinte affecte gravement la fonction respiratoire et le mécanisme de la toux chez les sujets tétraplégiques, ce qui prédispose aux complications respiratoires. Divers types d'entraînement musculaire respiratoire (EMR) sont décrits dans la littérature. L'EMR a démontré être efficace pour augmenter la force musculaire inspiratoire (PIM) et expiratoire (PEM). Cependant, le type, l'intensité et le temps de traitement les plus efficaces restent encore peu clairs.

Objectif : Cette revue systématique visait à rechercher quel type d'entraînement des muscles respiratoires était le plus efficace pour améliorer la force musculaire respiratoire PIM et PEM, et l'efficacité de la toux DPT chez les patients tétraplégiques entre C4 et T1.

Méthodologie de recherche : Les bases de données Pubmed, PEDro, Cochrane, Scielo, MEDES, Kinedoc et Trip data base ont été utilisées en février 2020. La qualité méthodologique et les données ont été analysées.

Critère d'éligibilité : Tous les essais cliniques randomisés effectués sur des adultes tétraplégiques niveaux C4 à T1 ASIA A-B ou C, étudiant un type d'EMR comparé avec un groupe placebo, un traitement alternatif ou un groupe non traité, et qui ont évalué la PIM, la PEM ou le DPT ont été inclus.

Résultats : 490 références ont été trouvées, seul 9 articles (234 sujets) répondaient aux critères d'inclusion. 8 études ont évalué la PIM, 7 ont évalué la PEM et une seule a évalué le DPT. L'EMR inspiratoire (EMI) a été le plus utilisé (5 études). L'EMR avec des outils de valve au seuil de pression et de résistance passive au débit sont les plus décrits. La taille de l'effet la plus importante a été décrite avec l'EMI avec système de valve au seuil de pression (25,1 cmH₂O IC95% de -9,27 à 59,47). La plupart des études ont décrit une augmentation de la PIM, mais les intervalles de confiance sont trop larges. L'intensité, la fréquence et le temps d'entraînement n'ont pas pu être déterminés en raison de l'hétérogénéité des protocoles utilisés. L'effet de l'EMR sur le DPT a été peu évalué et ses résultats ne seraient pas bénéfiques. La qualité méthodologique des études a été évaluée avec l'échelle PEDro avec un important risque de biais dans 7 des 9 études.

Conclusion : L'EMR, et notamment des muscles inspiratoires, a des effets bénéfiques sur la force inspiratoire chez les sujets tétraplégiques. Les outils d'entraînement de renforcement avec valve au seuil de pression semblent être très utiles pour cet effet. Cependant, cet effet est difficile à estimer car l'intervalle de confiance est trop large, et les conclusions de cette revue doivent être prises avec prudence. Cet entraînement est facile et applicable par le kinésithérapeute et le patient en centre de rééducation, cabinet ou à la maison.

Mots clés : Entraînement musculaire respiratoire, tétraplégie, moelle épinière, pression inspiratoire maximale, débit de pointe à la toux.

Abstract

Background: Spinal cord injury (SCI) at the cervical level results in total or partial paralysis of the inspiratory or expiratory muscles. This severely affects respiratory function and the mechanism of coughing in tetraplegic subjects, predisposing them to respiratory complications. Various types of respiratory muscle training (RMT) are described in the literature. Breathing strength training has been shown to be effective in increasing inspiratory (MIP) and expiratory (PEM) muscle strength. However, the most effective type, intensity and time of treatment are still unclear.

Objective: The objective of this systematic review was to investigate which type of respiratory muscle training was most effective in improving respiratory muscle strength MIP and MEP, and the effectiveness cough PCF in tetraplegic patients between C4 and T1.

Results: 490 references were found, only 9 articles (234 subjects) met the inclusion criteria. 8 studies evaluated MIP, 7 evaluated MEP, and only 1 evaluated PCF. The inspiratory muscle training (IMT) was the most commonly used (5 studies). The RMT with pressure threshold valve tools and passive flow resistance are the most described. The largest effect size was described with the IMT with threshold valve system (25.1 cmH₂O IC95% from -9.27 to 59.47). Most studies have described an increase in MIP, but the confidence intervals are too wide. Training intensity, frequency and time could not be determined due to the heterogeneity of the protocols used. The effect of the RMT on PCF has been poorly evaluated and its results would not be beneficial. The methodological quality of the studies was assessed using the PEDro scale with a high risk of bias in 7 of the 9 studies.

Conclusion: RMT, especially IMT, has beneficial effects on inspiratory strength in tetraplegic subjects. Strengthening training tools with pressure threshold valve seem to be very useful for this effect. However, this effect is difficult to estimate because the confidence interval is too wide, and the conclusions of this review should be taken with caution. This training is easy and applicable by the physiotherapist and the patient in a rehabilitation center, physiotherapy private practice or at home.

Key Words: Respiratory muscle training, tetraplegia, spinal cord, maximum inspiratory pressure MIP, peak cough flow PCF.