



HAL
open science

Intérêt de la stimulation électrique dans l'amélioration de la toux et de la fonction respiratoire chez les blessés médullaires avec paralysie abdominale

Chloé Tapia

► **To cite this version:**

Chloé Tapia. Intérêt de la stimulation électrique dans l'amélioration de la toux et de la fonction respiratoire chez les blessés médullaires avec paralysie abdominale. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03980627

HAL Id: dumas-03980627

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03980627v1>

Submitted on 9 Feb 2023

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

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

**INTERET DE LA STIMULATION ELECTRIQUE DANS
L'AMELIORATION DE LA TOUX ET DE LA
FONCTION RESPIRATOIRE CHEZ LES BLESSES
MEDULLAIRES AVEC PARALYSIE ABDOMINALE**

TAPIA Chloé

Directeur de mémoire : Mme. RUIZ BUENO Rebecca

Remerciements

Je tiens premièrement à remercier ma maîtresse de mémoire Rebecca RUIZ BUENO, pour sa disponibilité, son écoute, sa bienveillance et ses conseils avisés qui ont conduit à la bonne rédaction de ce mémoire.

Je remercie toute l'équipe pédagogique de l'IFMK pour avoir assuré ma formation de kinésithérapeute durant ces 4 années.

Je souhaite remercier tous les professionnels de santé que j'ai pu rencontrer dans chacun de mes stages et qui ont participé à ma formation clinique. Merci pour la confiance qu'ils ont su m'accorder et qui a fait grandir la passion que je voue à ce métier.

Je remercie tout particulièrement Harith AL-KAZAZ et Baptiste RUBATTAZ, en partie grâce à qui j'ai appris à croire en moi autant professionnellement que personnellement.

Je remercie ma famille qui m'apporte un soutien sans faille depuis toujours, me poussant chaque jour à me dépasser et à donner le meilleur de moi-même. Merci à ma sœur pour qui je témoigne mon admiration pour ses ambitions et sa force de volonté. Son parcours et son tempérament ont toujours été un modèle durant toutes ces années.

Ceci n'est pas un remerciement mais une marque de respect à ma mère qui, ces dernières années, a été un modèle de force et de courage comme je n'en ai jamais connu. De même pour mon père qui a toujours fait de notre famille une priorité.

Je tiens à remercier mes amis de longue date et les personnes de mon entourage qui me soutiennent depuis toujours et m'ont vu évoluer.

Merci également aux personnes que j'ai rencontré grâce au job étudiant que j'ai occupé durant ces 2 dernières années, pour la confiance aveugle qu'ils m'ont accordé et le soutien indéniabable qu'ils continuent à m'apporter aujourd'hui. Merci pour cette expérience professionnelle et humaine.

Evidemment, merci à mes amis que j'ai rencontré en PACES et pendant ces 4 ans de formation à l'IFMK, et mention spéciale à ma binôme de TP. Merci pour les moments de bonheur qu'ils m'ont apporté et qu'ils continuent à me procurer.

Ces 4 années font sans aucun doute partie des meilleures de ma vie, et jamais je n'oublierai tout ce que j'ai pu y vivre et les personnes qui ont contribué à cela. Merci d'avoir en partie fait de moi la personne que je suis aujourd'hui.

Liste des abréviations

CI : Capacité Inspiratoire
CO₂ : Dioxyde de Carbone
CPT : Capacité Pulmonaire Totale
CRF : Capacité Résiduelle Fonctionnelle
CV : Capacité Vitale
CVF : Capacité Vitale Forcée
DEP : Débit Expiratoire de Pointe
FR : Fréquence Respiratoire
GRD : Groupe Respiratoire Dorsal
GRV : Groupe Respiratoire Ventral
IC 95 : Intervalle de Confiance à 95%
LM : Lésion Médullaire
ME : Moelle Epinière
O₂ : Dioxygène
OE : Oblique Externe
OI : Oblique Interne
P_{di} : Pression Diaphragmatique
P_{gas} : Pression Gastrique
P_{oes} : Pression Œsophagienne
PaCO₂ : Pression partielle de gaz carbonique
PaO₂ : Pression partielle d'oxygène
PIM : Pression Inspiratoire Maximale
PEM : Pression Expiratoire Maximale
RR : Risque Relatif
RRR : Réduction du Risque Relatif
SD : Standard Deviation (Ecart-type)
SEF : Stimulation Electrique Fonctionnelle
SNF : Stimulation Neuromusculaire Fonctionnelle
SENM : Stimulation Electrique Neuro Musculaire
V : Ventilation au repos
VAI : Voies Aériennes Inférieures
VAS : Voies Aériennes Supérieures
VEMS : Volume Expiratoire Maximal en 1 Seconde
VMM : Ventilation Maximale Minute
VR : Volume Résiduel
VRE : Volume Résiduel Expiratoire
VRI : Volume Résiduel Inspiratoire
VT : Volume courant

Table des matières

1. Introduction	1
1.1. Intérêt d'une revue de littérature sur la SEF utilisée dans un contexte neurologique et dans l'amélioration de la toux et de la fonction respiratoire	1
1.2. Anatomie de l'appareil respiratoire	1
1.2.1. <i>Voies aériennes supérieures</i>	1
1.2.2. <i>Voies aériennes inférieures et arbre bronchique</i>	2
1.2.3. <i>Poumons</i>	2
1.2.4. <i>Muscles inspireurs</i>	3
1.2.5. <i>Muscles expirateurs</i>	5
1.3. Physiologie respiratoire	7
1.3.1. <i>Mécanique ventilatoire</i>	7
1.3.2. <i>Respiration externe</i>	9
1.3.3. <i>Respiration interne (Annexe 1)</i>	9
1.4. Commande médullaire de la respiration	9
1.4.1. <i>Commande centrale</i>	9
1.4.2. <i>Commande périphérique</i>	10
1.4.3. <i>Régulation</i>	11
1.5. La toux	12
1.5.1. <i>Mécanisme de la toux</i>	12
1.5.2. <i>Evaluation de l'efficacité de la toux</i>	13
1.6. Les lésions médullaires (LM)	14
1.6.1. <i>Rappel anatomique de la moelle épinière</i>	14
1.6.2. <i>Définition de la lésion médullaire</i>	14
1.6.3. <i>Evolution de la lésion médullaire</i>	15
1.6.4. <i>Fonction respiratoire et lésion médullaire</i>	16
1.7. La stimulation électrique fonctionnelle (SEF)	17
1.7.1. <i>Définition</i>	17
1.7.2. <i>Principes d'application et mécanisme</i>	18
1.7.3. <i>Composants et électrodes</i>	19
1.7.4. <i>Contre-indications et limites</i>	20
1.8. Objectif(s) de la revue de littérature	20
2. Méthode	21
2.1. Critères d'éligibilité des études pour cette revue	21
2.1.1. <i>Critères d'inclusion</i>	21
2.1.2. <i>Critères d'exclusion</i>	22

2.2.	Méthodologie de recherche des études	22
2.3.	Extraction et analyse des données	24
2.3.1.	<i>Sélection des études</i>	24
2.3.2.	<i>Extraction des données</i>	24
2.3.3.	<i>Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées</i>	24
2.3.4.	<i>Méthode de synthèse des résultats</i>	25
3.	Résultats	26
3.1.	Description des études	26
3.1.1.	<i>Sélection des études : diagramme de flux</i>	26
3.1.2.	<i>Etudes incluses</i>	27
3.1.2.1.	Population	27
3.1.2.2.	Type d'intervention et comparateurs	28
3.1.2.3.	Critères de jugement	29
3.2.	Risque de biais des études incluses	31
3.3.	Effets de l'intervention sur les critère(s) de jugement(s) de la revue	32
3.3.1.	<i>McBain 2013 [47]</i>	32
3.3.2.	<i>Gonzales 2015 [49]</i>	34
3.3.3.	<i>Cheng 2006 [48]</i>	35
3.3.4.	<i>Hacakova-Bartova 2008 [50]</i>	39
4.	Discussion	41
4.1.	Analyse des principaux résultats	41
4.1.1.	<i>Critères de jugement principaux</i>	41
4.1.1.1.	Efficacité de la toux : DEP	41
4.1.1.2.	Fonction respiratoire : CVF	42
4.1.2.	<i>Critères de jugement secondaires</i>	43
4.1.2.1.	Volumes respiratoires : CV, VEMS et CI	43
4.1.2.2.	Pressions mesurées : PIM, PEM, P_{gas} et P_{oes}	43
4.2.	Applicabilité des résultats en pratique clinique	45
4.3.	Qualité des preuves	49
4.4.	Biais potentiels de la revue	51
4.4.1.	Analyse critique	51
4.4.2.	Echelle AMSTAR-2	52
5.	Conclusion	54
5.1.	Implication pour la pratique clinique	54
5.2.	Implication pour la recherche	54

Table des illustrations

Figure 1 : Ramifications de l'arbre bronchique [4]

Figure 2 : Principaux muscles du thorax aidant à la respiration. [4]

Figure 3 : Spirogramme présentant les volumes et capacités pulmonaires. [4]

Figure 4 : Principe de la SEF. [46]

Figure 5 : Capture d'écran de l'équation de recherche PubMed.

Figure 6 : Capture d'écran des équations de recherche Pedro.

Figure 7 : Capture d'écran de l'équation de recherche sur Cochrane Library.

Figure 8 : Diagramme de Flux.

Tableau 1 : Anatomie du **diaphragme**. [6] [7] [8]

Tableau 2 : Anatomie des muscles **inspiratoires accessoires**.

Tableau 3 : Anatomie des muscles **expirateurs**.

Tableau 4 : Complications respiratoires en fonction du niveau lésionnel.

Tableau 5 : Modèle PICO de la revue de littérature.

Tableau 6 : Raisons d'exclusion des articles après lecture complète.

Tableau 7 : Modalités d'application de la stimulation électrique dans les différentes études.

Tableau 8 : Tableau synthétique des 4 études incluses dans la revue.

Tableau 9 : *Score PEDro des études sélectionnées pour cette revue.*

Tableau 10 : Synthèse des biais présents dans les études de la revue.

Tableau 11 : synthèse des critères de jugements de chaque étude.

Tableau 12 : Classification de l'efficacité de la toux après intervention dans 2 des études de la revue.

Tableau 13 : Tableau des niveaux de qualité selon le système GRADE [53]

Tableau 14 : Tableau de synthèse des critères évalués par le système GRADE [53]

Tableau 15 : Qualité de preuves des résultats de cette revue selon le système GRADE.

Tableau 16 : Tableau synthétisant le Grade pour chaque niveau de preuve fourni par la littérature. [53]

Tableau 17 : Application de l'échelle AMSTAR-2 à notre revue de littérature.

Photo 1 : Exemple d'électrodes de surface.

1. Introduction

1.1. Intérêt d'une revue de littérature sur la SEF utilisée dans un contexte neurologique et dans l'amélioration de la toux et de la fonction respiratoire

La rééducation respiratoire en kinésithérapie s'applique à différents domaines pathologiques tel que la neurologie. La lésion médullaire est une pathologie particulièrement concernée par ce type de rééducation car les déficits musculaires inspiratoires et expiratoires entraînent d'importantes séquelles respiratoires. Ces complications occupent une place importante dans l'évolution de cette pathologie neurologique.

Les capacités respiratoires et la toux sont altérées chez les patients blessés médullaires en partie à cause de la paralysie des muscles abdominaux. Ces altérations sont problématiques car l'intégrité de ces paramètres est nécessaire dans la défense de l'arbre bronchique. Il est essentiel de trouver des alternatives pour palier à ces déficits et éviter les infections respiratoires qui sont une cause importante de mortalité chez ces patients.

La stimulation électrique des abdominaux est étudiée depuis quelques années dans le domaine neurologique, et plus précisément dans l'amélioration du mécanisme de toux et des capacités respiratoires. Cette revue a pour but de déterminer si la SEF des abdominaux est efficace dans l'amélioration du mécanisme de toux et de la fonction pulmonaire chez les blessés médullaires atteints de paralysie abdominale.

1.2. Anatomie de l'appareil respiratoire

L'ensemble des voies respiratoires se divise en deux parties :

- Les voies aériennes supérieures (VAS) comprenant la cavité nasale, la cavité orale et le pharynx.
- Les voies aériennes inférieures (VAI) avec le larynx, la trachée, les bronches, bronchioles et alvéoles. Elles constituent l'arbre bronchique.

Les voies respiratoires inférieures se terminent dans les viscères thoraciques de l'appareil respiratoire : les poumons.

1.2.1. Voies aériennes supérieures

Elles sont constituées de 3 éléments dont premièrement la **cavité nasale**. C'est le méat principal du passage de l'air qui circule du nez au nasopharynx en passant par les choanes. Ses deux rôles principaux sont l'olfaction et la fonction respiratoire (filtre, réchauffe, humidifie et canalise l'air qui y passe).

La **cavité orale** peut faire partie des voies aériennes supérieures, de par sa communication avec le pharynx dénommé oropharynx.

Enfin le **pharynx** constitue la partie terminale de ces voies supérieures et se caractérise comme un carrefour aéro-digestif. Situé en avant de la colonne cervicale, il s'étend de la base du crâne à C7. On le compartimente en 3 : nasopharynx (ou rhinopharynx) ; oropharynx ; laryngopharynx. Il permet le passage de l'air et du bol alimentaire, mais jamais les deux en même temps pour éviter le risque de fausse route. Il intervient également, grâce à ses connexions, dans la phonation et l'audition. [1]

1.2.2. Voies aériennes inférieures et arbre bronchique

Le segment initial des VAI est une structure impaire et médiane : le **larynx**. C'est un ensemble de 3 cartilages impairs et 3 cartilages pairs appendus à l'os hyoïde. Il s'étend de C4 à C6, au niveau de la partie antérieure et moyenne du cou entre le pharynx et la trachée. [2]

Dans sa fonction respiratoire, il est assimilé à une valve fermant la trachée pour le passage de l'air. Ses deux autres fonctions sont la phonation grâce aux cordes vocales, et la déglutition. [1]

La **trachée** s'étend du cartilage cricoïde en regard de C6 [3], jusqu'à la bifurcation trachéale en T4-T5 appelée carène (Carina). [4] C'est un long conduit fibro-musculo-cartilagineux formé de 16 à 20 anneaux cartilagineux. On peut rechercher la toux provoquée au niveau de la fourchette sternale en appuyant sur les premiers cartilages trachéaux.

A partir de cette division, **2 bronches principales** naissent : les bronches principales droite et gauche. Elles sont extra pulmonaires et se terminent au niveau du hile du poumon, pour former le pédicule pulmonaire avec une artère et 2 veines pulmonaires. Elles sont constituées d'anneaux cartilagineux.

La bronche principale droite est plus courte, plus verticale et plus large que la gauche. Son orientation plus oblique est telle qu'un corps étranger est plus susceptible de passer à droite qu'à gauche. [3]

De chaque côté, les bronches se divisent en **bronches lobaires (secondaires)** intrapulmonaires qui sont au nombre de 3 à droite et de 2 à gauche. Chacune est destinée à rejoindre un lobe pulmonaire.

Les bronches secondaires se ramifient en **bronches segmentaires (tertiaires)**, qui viennent alimenter les 10 segments de chaque lobe.

Enfin, les bronches segmentaires se divisent en **bronchioles** qui ne contiennent plus de cartilage et ont un diamètre inférieur à 1mm. [1] Leur dernières ramifications sont les **bronchioles terminales**, de diamètre encore plus petit. Ces bronchioles marquent la fin de la zone de conduction.

Au-delà de celles-ci se trouve la zone respiratoire avec des ramifications d'ordre microscopique : les **bronchioles respiratoires** et les **conduits alvéolaires** aboutissant aux **sacs alvéolaires**. Ces alvéoles constituent le lieu d'échange entre le sang et l'air permettant un maintien de l'homéostasie. On en comptabilise 300 à 500 millions, ce qui correspond à une surface d'échange importante de 75m². [4] Elles sont tapissées de surfactant pulmonaire, évitant le collapsus des parois lors de l'expiration. [1]

Cet ensemble de ramifications constitue l'arbre bronchique et se trouve en partie dans les viscères thoraciques : les poumons (**Figure 1 : Ramifications de l'arbre bronchique**).

1.2.3. Poumons

Les poumons sont les viscères intrathoraciques de l'appareil respiratoire. Chaque poumon est de forme cylindro-conique, formé d'un apex dépassant la première côte (K1) et d'une base située au niveau du 4^{ème} espace intercostal à droite et du 5^{ème} espace intercostal à gauche.

Le poumon est un organe volumineux, aplati à sa face médiastinale au centre de laquelle se situe le hile pulmonaire.

Pairs et symétriques, leur constitution diffère. Le **poumon droit** comporte 3 lobes : supérieur, moyen comprenant un segment latéral et médial, et le lobe inférieur avec 5 segments.

Le **poumon gauche** compte 2 lobes : un supérieur divisé en 2 (le culmen et la lingula) et un inférieur divisé en 5 segments également. [1]

Les poumons ont 3 fonctions principales : assurer les échanges gazeux entre le sang et l'air extérieur (hématose), assurer la défense contre les agents pathogènes inhalés, et synthétiser le surfactant tapissant les alvéoles. [3]

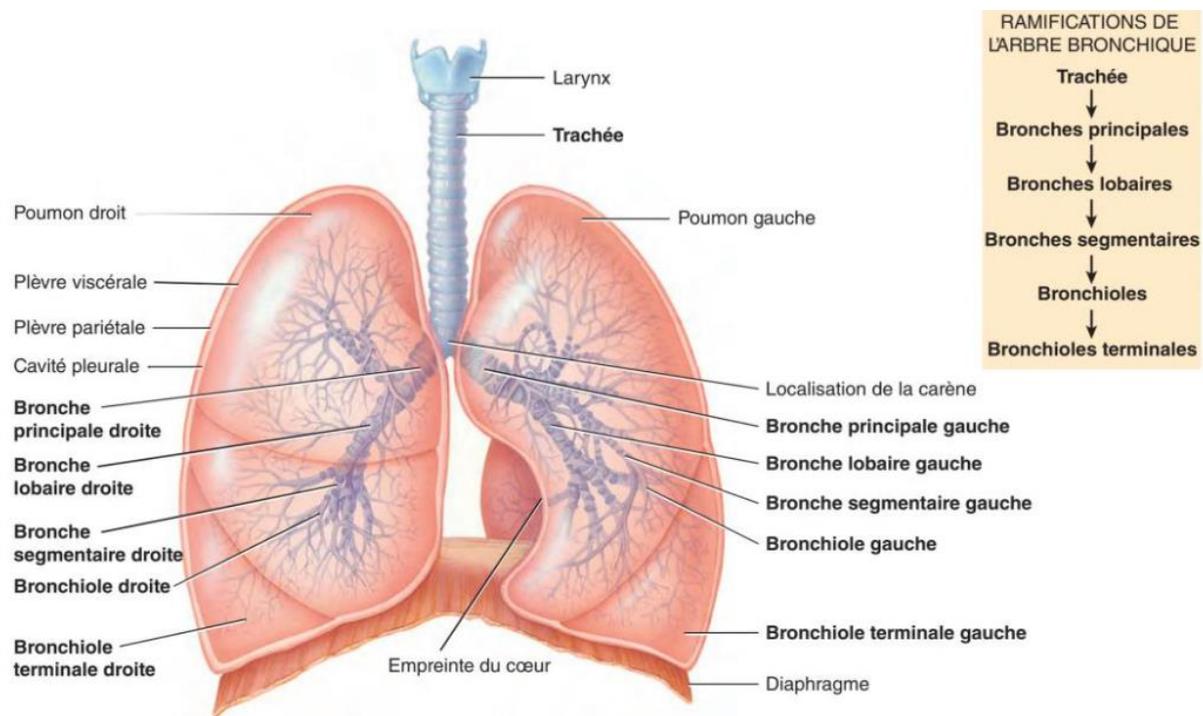


Figure 1 : Ramifications de l'arbre bronchique [4]

Chaque poumon est enveloppé par une membrane séreuse à double feuillet : la plèvre. Le feuillet **pariétal** se place contre la paroi thoracique et adhère inférieurement au diaphragme. Le feuillet **viscéral** recouvre la surface du poumon et des scissures lobaires. Ces deux feuillets constituent l'espace pleural au sein duquel règne une pression négative ; c'est un espace de glissement virtuel donnant de la mobilité aux poumons et assurant leur cohésion avec le grill costal. [3]

1.2.4. *Muscles inspireurs*

Le diaphragme est le muscle inspireur principal. C'est un muscle profond séparant le thorax et l'abdomen. [5] C'est un dôme avec 2 coupes à concavité inférieure (*plafond de la cavité abdominale*) et convexité supérieure (*plancher de la cavité thoracique*).

Ce muscle est tendu du pourtour thoracique inférieur jusqu'au centre phrénique. Le diaphragme est interrompu par 3 orifices principaux : le foramen de la veine cave inférieure (en regard de T9), le hiatus œsophagien (en regard de T10), et le hiatus aortique (en regard de T12). On retrouve d'autres orifices qui sont le lieu de passage des nerfs phrénique gauche, grand et petit splanchnique et du tronc sympathique. [6]

<i>Origine</i>	<i>Terminaison</i>	<i>Fonction</i>	<i>Innervation</i>
4 insertions périphériques sur le pourtour thoracique inférieur : - Rachidienne (pilier droit de L1 à L3 et pilier gauche de L1 à L2) - Arcades fibreuses (médiale, moyenne et latérale) - 6 dernières côtes - Face postérieure de l'appendice xyphoïde du sternum	Insertion centrale sur le centre phrénique (aponévrose mince et résistante).	<u>Anatomique</u> : muscle profond séparant le thorax et l'abdomen. <u>Respiratoire</u> : participe à 70% du volume courant et abaisse le centre phrénique ; c'est le muscle inspireur principal. <u>Abdominale</u> : stabilisation du rachis (statique) et fonction d'expulsion (dynamique).	Nerf phrénique droit et gauche (C3, C4, C5). Nerfs intercostaux (sensitif).

Tableau 1 : Anatomie du diaphragme. [6] [7] [8]

Les muscles inspireurs accessoires (élevateurs des côtes lors de l'inspiration) [3] sont les scalènes, le Sterno-Cleïdo-Occipito-Mastoïdien (SCOM), les intercostaux externes (*des articulations costo-transversaires aux cartilages costaux*), le grand et petit pectoral (inspiration forcée) et le dentelé antérieur. [6] [7] [8]

Cependant, il a été prouvé que la portion claviculaire du grand pectoral pourrait aussi contribuer à l'amélioration de la fonction expiratoire chez les blessés médullaires et que l'entraînement de cette portion musculaire pouvait améliorer l'efficacité de la toux et de la capacité expiratoire. [9] [10]

<i>Muscles</i>	<i>Origine</i>	<i>Terminaison</i>	<i>Fonction</i>	<i>Innervation</i>
Petit pectoral [4] [11] [12]	Bord médial de la partie horizontale du processus coracoïde.	Bord crânial et face ventrale des arcs antérieurs de K3 à K5, entre l'extrémité sternale de la côte osseuse et son angle costal ventral.	Inspireur accessoire (scapula fixe).	Nerf pectoral médial (C8 à T1)
Grand pectoral [4][7][11][12]	3 chefs musculaires : - Claviculaire - Sternal - Costal (K2 à K6, parfois K1 à K7)	Terminaison commune sur la lèvre latérale de la gouttière bicipitale de l'humérus.	Inspireur accessoire lorsque le diaphragme est défaillant.	Nerf pectoral médial et latéral (C5 à T1)
Dentelé antérieur [4] [11] [12]	Face antérieure du bord spinal de la scapula.	Arcs axillaires des 9 premières côtes.	Plaqué la scapula sur la cage thoracique. Inspireur accessoire (scapula fixe).	Nerf thoracique long (C5 à C7).

<p>Scalènes [2] [11] (3 faisceaux)</p>	<p><u>Antérieur</u> : tubercules antérieurs des processus transverses de C3 à C6.</p> <p><u>Moyen</u> : tubercules postérieurs des processus transverses de C1 à C7.</p> <p><u>Postérieur</u> : tubercules postérieurs des processus transverses de C5 et C6.</p>	<p><u>Antérieur</u> : tubercule du scalène antérieur de K1 (tubercule de Lisfranc), en arrière du sillon de l'artère subclavière.</p> <p><u>Moyen</u> : K1.</p> <p><u>Postérieur</u> : bord supérieur de K2.</p>	<p>Point fixe sur <u>l'origine</u> : élévateurs K1 et K2 ; inspireurs accessoires.</p> <p>Point fixe sur la <u>terminaison</u> : fléchisseurs latéraux de tête.</p> <p>En contraction bilatérale ils sont fixateurs du rachis cervical.</p>	<p>Branches antérieures des nerfs spinaux cervicaux.</p> <p>C5, C6 pour l'antérieur.</p> <p>C6, C7, C8 pour les moyens et postérieurs.</p>
<p>SCOM [2][4][11]</p>	<p>2 chefs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Sternal</u> : face antérieure du manubrium sternal, partie crâniale et médiale. - <u>Claviculaire</u> : tiers médial du bord supérieur de la clavicule. 	<p>Os occipital : processus mastoïde et moitié de la ligne nucale supérieure.</p>	<p>Point fixe sur <u>l'origine</u> : flexion de la tête, inclinaison homolatérale et rotation controlatérale.</p> <p>L'action simultanée bilatérale induit une flexion la de tête.</p> <p>Point fixe sur la <u>terminaison</u> : inspireur accessoire.</p>	<p>Nerf accessoire (XI).</p> <p>Racines C2-C3.</p>
<p>Intercostaux externes [3][4][13]</p>	<p>Lèvre externe du sillon des côtes.</p>	<p>Bord supérieur de la côte sous-jacente.</p> <p><u>Trajet</u> : oblique en bas et en avant.</p>	<p>Inspireurs accessoires.</p> <p>Solidarisent les côtes entre elles.</p>	<p>Nerf intercostal correspondant.</p> <p>Racines T2 à T12.</p>

Tableau 2 : Anatomie des muscles inspiratoires accessoires.

1.2.5. Muscles expirateurs

Les muscles **abdominaux** sont, avec les **intercostaux internes** (du sternum aux angles des côtes), les muscles principaux de l'expiration active forcée. [3]

L'appellation « abdominaux » comprend le **droit de l'abdomen**, **l'oblique interne** (plan *intermédiaire* accolé à la face interne de l'oblique externe [3]), **l'oblique externe** (plan *superficiel*) et le **transverse de l'abdomen** (plan *profond*). [8]

Le droit de l'abdomen est mince, ventral et pair ; il est enveloppé d'une gaine aponévrotique résistante (gaine rectusienne), à laquelle il adhère 3 ou 4 fois dans la région sus-ombilicale. [3]

<i>Muscles</i>	<i>Origine</i>	<i>Terminaison</i>	<i>Fonction</i>	<i>Innervation</i>
Droit de l'abdomen [4][6][7][14]	Face antérieure des arcs et cartilages costaux de K5 à K7 et appendice xiphoïde du sternum.	Tendineuse, sur le bord supérieur du pubis.	Flexion du bassin sur le thorax ou inversement. Expirateur grâce au tirage des dernières côtes vers le bas.	6 derniers nerfs intercostaux. Racines T7-T12.
Transverse de l'abdomen [4] [6] [14]	Versant interne des trois quarts antérieurs de la crête iliaque, face interne de K6 à K12, sommet de l'apophyse transverse des vertèbres lombaires et tiers externe de l'arcade crurale.	Aponévrose participant au feuillet postérieur de la gaine rectusienne du droit de l'abdomen (2/3 supérieurs) et à son feuillet antérieur (1/3 inférieur). Les fibres inférieures fusionnent avec la terminaison inférieure de l'OI au niveau du pubis.	Rentré du ventre, muscle le plus important dans la compression des viscères. Fonction respiratoire : Expiration forcée et toux.	Nerfs intercostaux de T8 à T12. Nerf ilio-hypogastrique et ilio-inguinal.
Oblique externe (OE) [3][4] [6][7][14]	Face externe de K5 à K12. Insertions costales de plus en plus postériorisées (ligne d'insertion oblique en bas et en arrière). <u>Trajet</u> : en bas et en avant.	- <u>Antérieure</u> : de K5-K6 à la ligne blanche et la gaine rectusienne du droit de l'abdomen. - <u>Inférieure</u> : de K7-K9 vers la ligne blanche et l'aponévrose. - <u>Postérieure</u> : de K10-K12 à la partie antérieure de la crête iliaque et sur le pubis.	Rotation controlatérale du tronc. Fonction respiratoire : - Expirateur : rentré du ventre et tirage des dernières côtes vers le bas. - Toux.	6 derniers nerfs intercostaux (T7 à T12). Nerf ilio-hypogastrique.
Oblique interne (OI) [3][4] [6][7][14]	Epine, crête iliaque et ligament inguinal.	- <u>Supérieure</u> : cartilages costaux de 7 à 9 et de K10 à K12. - <u>Antérieure</u> : aponévrose et ligne blanche, participant à la formation de la gaine rectusienne. - <u>Inférieure</u> : ligne blanche, pubis et crête pectinéale. Union avec le transverse pour former la faux inguinale.	Rotation homolatérale du tronc. Fonction respiratoire : - Expirateur : rentré du ventre et tirage des dernières côtes vers le bas. - Toux.	Nerfs intercostaux de T8 à T12. Nerf ilio-hypogastrique et ilio-inguinal.
Intercostaux internes [3][4][13][9]	Lèvre latérale du sillon des côtes. <u>Trajet</u> : en bas et en arrière.	Bord supérieur de la côte et du cartilage costal sous-jacent.	Expirateurs accessoires.	Nerf intercostal correspondant Racines T2-T12.

Tableau 3 : Anatomie des muscles expireurs.

Au niveau de la fonction respiratoire, les abdominaux vont avoir une action majeure dans l'expiration active forcée comme le chant, le rire ou un cri. Ils refoulent les viscères vers le haut et repoussent indirectement le diaphragme en position expiratoire. Ainsi, un patient tétraplégique avec des abdominaux paralysés rencontrera des difficultés à crier, tousser pour expectorer, et se moucher.

Dans le mécanisme d'inspiration les abdominaux jouent tout de même un rôle important, notamment le transverse ; en effet la sangle abdominale maintient les viscères permettant au centre phrénique du diaphragme de prendre appui sur ceux-ci et permettant à la cage thoracique de s'expandre transversalement et antéro postérieurement. [14]

Les abdominaux participent également aux fonctions d'expulsion (miction, défécation, vomissement, accouchement) [3], à la stabilisation du rachis lombal, à la statique posturale en ajustant notre attitude grâce à des contractions inconscientes (95% de fibres toniques et 5% de fibres phasiques). [6]

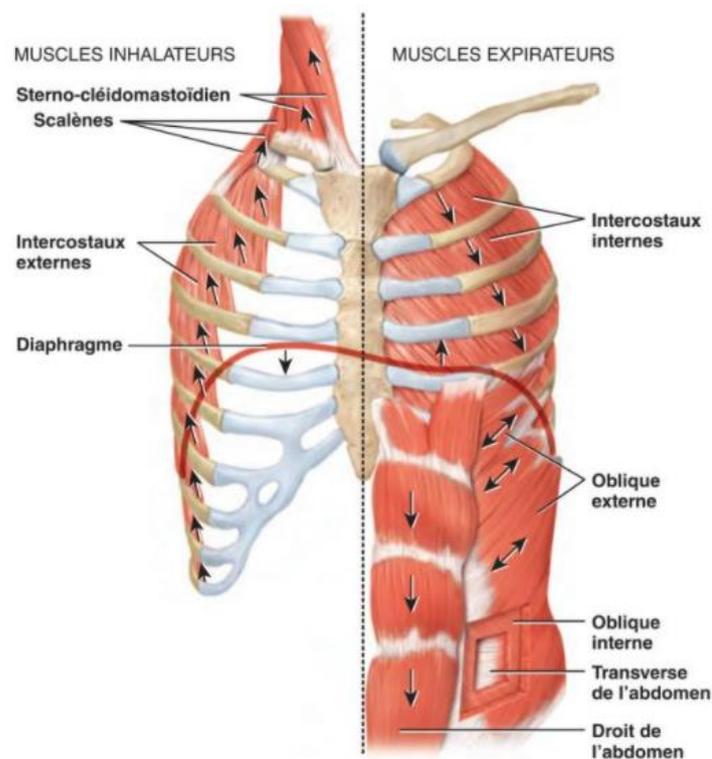


Figure 2 : Principaux muscles du thorax aidant à la respiration. [4]
Les flèches indiquent la direction de la contraction musculaire.

1.3. Physiologie respiratoire

1.3.1. Mécanique ventilatoire

Elle correspond aux mouvements de l'air entre l'atmosphère et les poumons, et inversement ; ce sont les phénomènes d'inspiration et expiration. Le mécanisme **inspiratoire** est un phénomène actif. [15]

Il correspond à la contraction du diaphragme qui s'aplatit et à la contraction des inspireurs accessoires qui augmentent encore plus le volume thoracique lorsque l'inspireur principal ne peut pas subvenir aux besoins en oxygène de l'organisme. [3]

Avant chaque inspiration, la pression pulmonaire est égale à la pression atmosphérique. Pour que l'air entre et circule dans l'arbre bronchique, la pression alvéolaire doit être inférieure à la pression atmosphérique : c'est en augmentant le poumon de taille que la pression alvéolaire diminue. [4]

A l'inverse, l'**expiration** est un mouvement passif de diminution du volume pulmonaire et thoracique. Le retour du poumon à sa taille « normale » est dû à son élastance, à la pesanteur et l'élasticité thoracique. De plus, les muscles expirateurs se contractent (abdominaux, intercostaux internes) et accentuent l'ascension diaphragmatique et la fermeture du grill costal lors d'une expiration forcée active. [3] [16]

Pendant la phase de ventilation, des volumes d'air variables entrent et sortent du poumon. On classe ces volumes en deux types : les volumes pulmonaires et les capacités pulmonaires. On mesure les volumes mobilisables avec un spiromètre. La spirométrie est considérée comme étant l'outil de mesure de base de la fonction respiratoire.

- Volumes pulmonaires : [4] [16] [17]

Volume courant (VT) : volume d'air mobilisé lors d'un cycle ventilatoire (*inspiration et expiration*).

Volume de réserve inspiratoire (VRI) : lors d'une inspiration forcée, volume inhalé à partir de la fin de l'inspiration normale.

Volume de réserve expiratoire (VRE) : lors d'une expiration forcée, volume mobilisé à partir de la fin d'une expiration normale.

Volume expiratoire maximal en 1 seconde (VEMS) : volume d'air expirable en seulement 1 seconde lors d'un effort maximal, le plus rapide possible et poussé au maximum vers une expiration complète. Cet effort est précédé d'une inspiration maximale.

Volume résiduel (VR) : quantité d'air restant dans les poumons après l'expiration du VRE. Ce volume est non mesurable lors d'une spirométrie.

- Capacités pulmonaires : [4] [16] [17] [18] [19]

Capacité inspiratoire : $VT + VRI$.

Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) : volume pulmonaire restant à la fin d'une expiration normale ; $VR + VRE$.

Capacité vitale (CV) : volume mobilisé lorsque le patient fait une inspiration et une expiration maximales ; $CV = VT + VRI + VRE$.

Capacité Vitale Forcée (CVF) : volume d'air expiré lors d'une expiration forcée et profonde précédée d'une inspiration complète.

Capacité pulmonaire totale (CPT) : $CV + VR$.

Ventilation maximale minute (VMM) : volume total et maximal d'air que le patient peut inspirer et expirer en une minute lors d'un effort ventilatoire volontaire.

Ventilation au repos (V) : volume total d'air mobilisable lors d'un cycle ventilatoire ; $V = VT \times FR$.

Ventilation alvéolaire : volume d'air inspiré par minute atteignant la zone respiratoire et participant à la respiration externe.

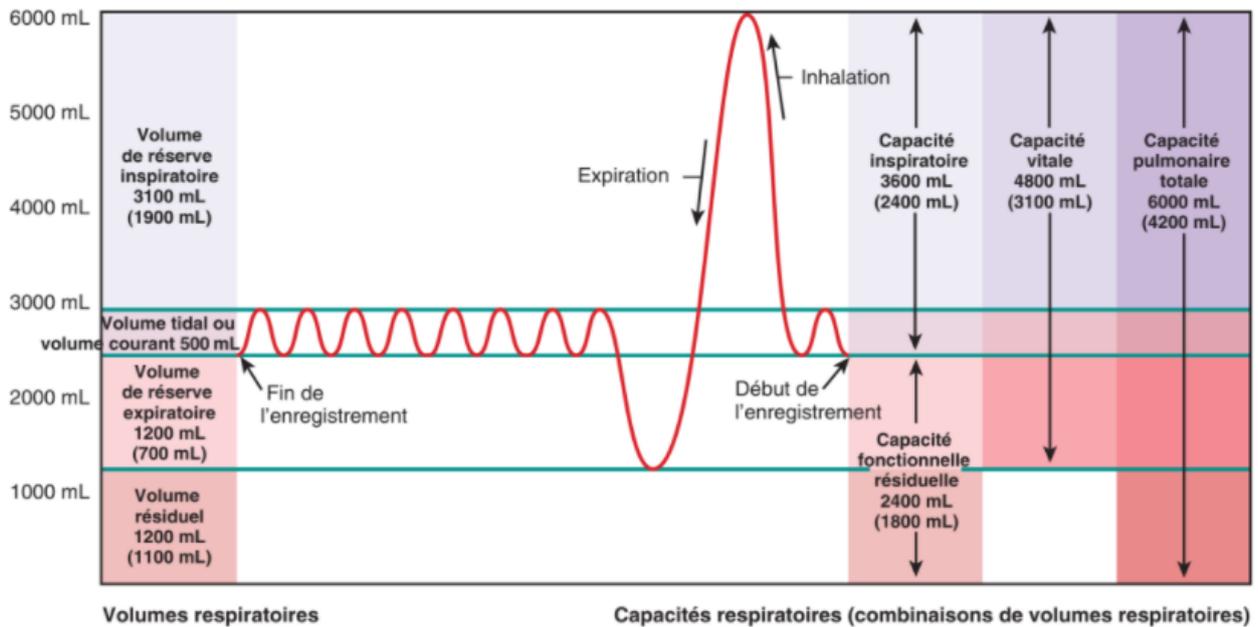


Figure 3 : Spirogramme présentant les volumes et capacités pulmonaires. [4]
 Les valeurs moyennes d'un adulte normal sont indiquées, les valeurs féminines sont entre parenthèses. On lit le spiogramme de droite à gauche.

1.3.2. Respiration externe

Ce phénomène correspond aux échanges gazeux qui se font entre l'air des alvéoles et le sang des capillaires. Chaque gaz composant l'air atmosphérique diffuse passivement à travers la membrane perméable séparant les alvéoles des capillaires sanguins.

L'oxygène (O_2) passe des alvéoles au sang, et le dioxyde de carbone (CO_2) diffuse du sang aux alvéoles. Ainsi le sang désoxygéné arrive du cœur droit via les capillaires alvéolaires, s'oxygène lors de la respiration externe et repart dans le cœur gauche. [4]

1.3.3. Respiration interne (Annexe 1)

Dès que les échanges gazeux se sont réalisés au niveau du poumon, le sang oxygéné est envoyé par le cœur gauche dans l'aorte, puis dans les artères et enfin dans les capillaires systémiques ; il traverse la membrane de ces derniers pour atteindre les cellules des différents tissus.

La respiration interne correspond aussi au mouvement du CO_2 des tissus vers le sang des capillaires. [4] Etant un déchet du métabolisme cellulaire, le CO_2 nécessite d'être éliminé afin d'éviter une acidose tissulaire ; le sang désoxygéné retourne vers les poumons via le système veineux, et la respiration externe va à nouveau se faire. [15]

1.4. Commande médullaire de la respiration

1.4.1. Commande centrale

La régulation du système ventilatoire commence au niveau central où on retrouve :

- Les **centres dans le cortex pariétal du cerveau**, responsables de la respiration volontaire.

- Le **tronc cérébral**, responsable de la respiration involontaire [20] : les voies nerveuses contrôlant la respiration sont dans le tronc cérébral inférieur. Les centres respiratoires sont localisés au niveau de la moelle (centre médullaire) et du pont (centre pontique). [21]
- La **moelle épinière** et les **motoneurones** : responsables de la transmission des influx nerveux du cortex et du tronc cérébral vers les corps cellulaires des motoneurones dans la corne antérieure. Les voies de la respiration volontaire (corticospinale) et automatique (réticulospinale) se séparent dans la moelle épinière. [7]

Au niveau de la commande respiratoire du **tronc cérébral**, les centres respiratoires sont en partie localisés dans le centre médullaire. Ce dernier est composé de deux ensembles de neurones : le groupe respiratoire dorsal **GRD** (zone *inspiratoire*) et le groupe respiratoire ventral **GRV** (zone *expiratoire*).

Les neurones du **GRD** sont inspiratoires. Les nerfs phréniques envoient des impulsions vers le diaphragme, et les nerfs intercostaux vers les muscles intercostaux externes. Les muscles reçoivent l'influx, se contractent et permettent l'inspiration. Le GRD s'inactive au bout de deux secondes ce qui engendrent un relâchement musculaire du diaphragme et des intercostaux externes pendant trois secondes. Cette inactivité permet au poumon et à la cage thoracique de revenir à leur position de repos. Le cycle se répète. [4]

Le **GRV** comprend des neurones bulbospinaux inspiratoires dans sa partie rostrale (GRVr) et des neurones bulbospinaux expiratoires dans sa partie caudale (GRVc). [22] Ce groupe ventral s'active lors d'une ventilation forcée (exercice, instrument à vent, haute altitude).

Par exemple lors d'une inspiration forcée, le GRD permet la contraction du diaphragme et des intercostaux externes tandis que le GRV activent les muscles inspireurs accessoires. [4]

De même lors d'une expiration forcée, les neurones bulbospinaux expiratoires du GRV favorisent la contraction des abdominaux et intercostaux internes. [21] (*Annexe 2*)

Le groupe ventral comprend aussi un complexe de neurones régulant le rythme respiratoire : le complexe Bötzing (partie rostrale du GRV) et le complexe préBötzing (partie intermédiaire du GRV). Ce complexe régulateur de rythme, similaire à celui du cœur, se compose de cellules pacemaker générant le rythme respiratoire de base. Ce mécanisme de régulation est encore inconnu et continue d'être l'objet de recherches scientifiques. [4] (*Annexe 3*)

Les neurones du groupe respiratoire **pontique** (centre pneumotaxique) se trouvent dans les ponts latéraux dorsaux et contiennent des neurones actifs pendant l'inspiration et l'expiration. Il transmet des influx nerveux au GRD médullaire. [4] [7] Ce groupe pontique n'est pas nécessaire à la génération du rythme respiratoire de base [20] mais semble participer à la stabilisation du schéma respiratoire, au ralentissement du rythme et à la synchronisation des phases respiratoire [21] (sommeil, élocution, exercices physique). [4]

1.4.2. Commande périphérique

Au niveau périphérique, on retrouve les **muscles respiratoires** qui sont les effecteurs du système. Ils sont alimentés par les motoneurones inférieurs ; leur corps cellulaire se situe dans la corne antérieure de la moelle épinière, [20] ils en sortent pour donner naissance aux racines nerveuses, puis continuent leur cheminement formant ainsi les nerfs des muscles respiratoires. Dans leur finalité, les nerfs se divisent en plusieurs boutons synaptiques venant en regard des plaques motrices musculaires.

Ces boutons contiennent de l'acétylcholine qui est un neurotransmetteur : dès l'arrivée de l'influx nerveux, celle-ci est libérée dans la fente synaptique et se fixe aux récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine situés sur la plaque motrice du muscle. Cela engendre un potentiel post-synaptique excitateur (PPSE) déclenchant un potentiel d'action et conduisant à une contraction musculaire [7].

1.4.3. Régulation

Il existe plusieurs types de régulations du centre respiratoire dont les principaux sont la régulation corticale et la régulation par chimiorécepteurs (ou chémorécepteurs).

- Régulation corticale

Nous avons vu précédemment qu'une partie de la commande respiratoire s'effectuait dans le cortex ; il est donc possible de modifier volontairement notre mode respiratoire. En effet nous pouvons ralentir et accélérer notre rythme respiratoire, voir même l'arrêter un court instant en faisant une apnée.

Cette régulation volontaire nous permet de nous protéger de gaz irritants et de l'eau en bloquant notre respiration. Cette capacité apnéique est tout de même limitée par le taux de CO_2 et d' H^+ dans notre corps. Lorsque ces taux augmentent trop, le GRD est fortement stimulé ; des influx nerveux sont envoyés vers les muscles inspireurs via les nerfs phréniques et intercostaux, afin de redéclencher la respiration même si la personne ne le souhaite pas. [4]

- Régulation par les chimiorécepteurs

Les chémorécepteurs peuvent être centraux (système nerveux central) et périphérique.

Les chimiorécepteurs **périphériques** se situent au niveau carotidien (glomus carotidien) et aortique (glomus aortique) ; ils détectent principalement les variations de PaO_2 , et dans une moindre mesure les variations de PaCO_2 et pH. [20] Ces récepteurs détectent le niveau d' O_2 et augmente leur décharge neuronale lorsque ce niveau chute trop (< 75 mmHg).

Ils répondent aussi à l'augmentation du taux de PaCO_2 (hypercapnie) et à la baisse de la valeur du pH. Les centres aortiques semblent réagir de façon plus importante pendant la petite enfance, tandis que les centres carotidiens réagiraient plus pendant l'âge adulte. [7]

Une fois stimulés, les impulsions générées par les récepteurs périphériques sont transmises aux modulateurs respiratoires du système nerveux central, [20] en remontant via les nerfs crâniens glossopharyngien IX pour le carotidien, et vague X pour l'aortique. [4]

Les chémorécepteurs **centraux** sont eux principalement responsables de la réponse à la variation de la PaCO_2 . [7] Ils se situent principalement dans la moelle.

Ils sont chargés de maintenir l'équilibre acido-basique et de réguler le pH. [20] Ainsi, une anomalie de composition du liquide céphalo-rachidien telle qu'une augmentation de la PaCO_2 ou une diminution de la PaO_2 et du pH (acidose) engendrent une adaptation de la respiration et de l'activité sympathique. [21] Une quantité plus importante d' O_2 va être inhalée et de CO_2 va être exhalée ; c'est la réponse par hyperventilation. [4]

1.5. La toux

1.5.1. Mécanisme de la toux

La toux se divise en trois phases : inspiration, compression, expiration. [23] (*Annexe 2*)

La phase **inspiratoire** consiste en une longue et profonde inspiration, suivie d'une fermeture complète de la glotte. [4]

Lors de cette fermeture, la contraction des muscles abdominaux entraîne une augmentation de la pression intra-abdominale et intrathoracique [24] ; c'est la phase de **compression**. [23] Il en résulte que la fonction musculaire expiratoire est essentielle pour maintenir une force et une efficacité suffisante de la toux. [8]

L'ouverture de la glotte se traduit par une expiration forcée explosive à grande vitesse [24] ; à ce moment-là, la pression intrapleurale peut légèrement dépasser la pression atmosphérique et engendrer une expiration assez puissante [4] pour dégager les bronches. [24] Un souffle d'air est rapidement envoyé à travers les voies aériennes supérieures ; c'est la phase **expiratoire**. [23]

La toux est déclenchée à partir de régions innervées par le nerf vague X (larynx, pharynx, trachée). [4]

Une toux efficace est primordiale dans le dégagement des voies respiratoires. [23] La toux est le mécanisme principal mis en jeu dans la défense mécanique de l'arbre bronchique ; elle intervient lorsque la clairance mucociliaire est inefficace ou lorsqu'un corps étranger irritant est inhalé. [25] Elle entraîne hors du corps les éléments pathogènes piégés dans le mucus bronchique, en accélérant le mouvement de celui-ci. [4] Ce mécanisme de « nettoyage pulmonaire » permet de réduire considérablement le risque d'infections pulmonaires [22] et de prévenir la survenue de complications respiratoires telles que l'atélectasie, la pneumonie et l'insuffisance respiratoire (IR) [8] [[22] [24].

La toux spontanée prend naissance au niveau des zones réflexes tussigènes intra bronchiques, particulièrement au niveau des éperons de division des bronches principales. On retrouve des récepteurs d'irritation (à adaptation rapide) et d'étirement (à adaptation lente). [25] Les récepteurs d'étirement se trouvent dans la paroi postérieure de la membrane des voies aériennes de conduction, dans le muscle lisse ; ils s'adaptent aux changements de longueur de ce muscle. Ils ont une activité importante lors de l'inspiration.

A l'inverse, les récepteurs d'irritation à adaptation rapide se situent dans la muqueuse de l'arbre trachéobronchique proximal. Ceux au niveau de la trachée et des bronches proximales provoquent la toux, et ceux plus profonds au niveau des poumons provoquent une accélération de la respiration (hyperpnée) et accessoirement de la toux. [26]

En kinésithérapie, on trouve 3 techniques de toux utilisées pour le drainage des voies aériennes proximales : provoquée, dirigée (ou contrôlée) et assistée manuellement ou mécaniquement. [25]

- Toux provoquée

La toux peut être déclenchée par la stimulation volontaire de zones réflexes que sont :

- Les zones **respiratoires extra thoraciques** (nez, larynx, pharynx). [25] La provocation de la toux par compression des premiers cartilages trachéaux [1] ou par compression laryngée est très souvent utilisée en physiothérapie. [25]
- Les zones **extra respiratoires** : comme par stimulation du conduit auditif externe par exemple. [25]

- Toux dirigée (ou contrôlée)

La toux dirigée nécessite l'intervention d'un thérapeute qui a pour rôle d'aider le patient à optimiser sa toux. L'intervenant assiste manuellement et verbalement le patient dans sa toux ; des respirations lentes et profondes sont demandées au patient avant de réaliser l'effort de toux et d'exercer des pressions abdominales et thoraciques simultanées à l'effort effectué. Cette technique est réalisable patient assis ou semi-assis. Elle s'intéresse principalement aux voies aériennes proximales. [27]

- Toux assistée

Les voies aériennes proximales peuvent être nettoyées grâce à la méthode de toux assistée, manuellement ou mécaniquement. Ces deux types de toux assistée ont pour but de suppléer les muscles expiratoires qui sont affaiblis, pour qu'ils fournissent une pression intrathoracique suffisante pour générer une toux efficace et faire remonter les sécrétions bronchiques pour les expectorer.

La toux assistée **manuellement** se définit par l'intervention d'un thérapeute pour réaliser des pressions thoraciques accordées à la respiration du patient. Le thérapeute place la paume de sa main entre le processus xiphoïde et le nombril, et exerce une pression lorsque le patient tousse volontairement. [8]

La toux assistée **mécaniquement** nécessite l'usage du Cough-Assist (Insufflation-Exsufflation mécanique). Cet appareil génère dans un premier temps une insufflation en envoyant une pression positive dans les voies aériennes. Ce phénomène est rapidement suivi de l'application d'une pression négative (exsufflation) générant un débit expiratoire élevé, soit une toux efficace et suffisante pour décoller les sécrétions et les faire remonter jusque dans la cavité buccale pour pouvoir les expectorer ou les aspirer. [28] (*Annexe 6*)

La toux peut être un mécanisme déclenché volontairement dans le but de drainer les voies respiratoires. Elle constitue souvent le mécanisme final expulsif ; d'autres méthodes de drainage sont spécifiques pour la collection des sécrétions. La toux peut donc être couplée à d'autres méthodes afin d'obtenir un drainage efficace en physiothérapie. [25]

1.5.2. *Evaluation de l'efficacité de la toux*

L'efficacité de la toux est évaluée grâce au débit expiratoire de pointe (DEP) exprimé en L/min. C'est la vitesse maximale à laquelle l'air est expulsé depuis les poumons. Ce paramètre est mesurable par un débitmètre de pointe, petit appareil non-invasif et simple d'utilisation. [24] Lors de la mesure, le patient doit inspirer profondément puis souffler le plus fort possible dans le dispositif ; plusieurs essais sont réalisés et la meilleure mesure est retenue.

Le DEP et les autres paramètres respiratoires sont aussi mesurables par spirométrie ; cette technique vise à mesurer les volumes pulmonaires et les débits expiratoires. On l'appelle aussi l'Exploration Fonctionnelle Respiratoire (EFR). C'est un examen réalisé en laboratoire qui dure une trentaine de minutes en moyenne. Les mesures se réalisent en position assise, avec une respiration uniquement buccale à travers le spiromètre. (*Annexe 7*)

Pour évaluer les volumes pulmonaires, le patient doit respirer normalement puis respirer à fond dans les volumes extrêmes.

Pour mesurer les volumes et débits respiratoires, le patient inspire au maximum le plus vite possible, puis souffle le plus fort et le plus longtemps possible, sans faire de pause respiratoire entre les 2 étapes.¹

¹ <https://www.ameli.fr/assure/sante/examen/exploration/deroulement-spirometrie>

La mesure est répétée 3 fois et la meilleure est retenue. La spirométrie se différencie du débitmètre de pointe car elle permet de comparer les valeurs obtenues avec celles d'un individu du même âge, poids, taille et sexe que le patient.²

Les valeurs de DEP normales se situent entre 600 et 700 L/min, et il est estimé qu'un DEP < 160 à 180 L/min est le reflet d'une toux inefficace. Il a tout de même été mis en évidence un seuil de 270 L/min en état stable, pouvant rapidement décroître en-dessous de 160 L/min en phase aiguë, nécessitant par conséquent des aides techniques. [29] [30]

1.6. Les lésions médullaires (LM)

1.6.1. Rappel anatomique de la moelle épinière

La moelle épinière (ME) est la partie du système nerveux central s'étendant du cerveau aux vertèbres L1-L2, et se terminant par la queue de cheval [31]. 31 paires de nerfs rachidiens naissent des niveaux neurologiques de la ME et constituent les voies de communication entre la moelle et des régions spécifiques du corps : 8 paires cervicales, 12 thoraciques, 5 lombaires, 5 sacrées et 1 coccygienne. Elle constitue un tissu très fragile protégée par la colonne vertébrale osseuse et les méninges. (*Annexe 8*)

Sur une coupe transversale, la moelle se distingue par un noyau interne de substance grise contenant des corps cellulaires neuronaux, entouré de substance blanche composée d'axones myélinisés.

Au centre du noyau de substance grise et tout le long de la ME se trouve le canal central, lieu de passage du liquide céphalo rachidien.

La **substance grise** est de chaque côté de la ME divisée en régions appelées cornes ; une corne postérieure vers laquelle les neurones sensoriels affèrent, et une corne antérieure de laquelle partent les neurones moteurs émetteurs d'impulsion nerveuse.

Au niveau thoracique et lombaire supérieur, une corne latérale contient les corps cellulaires de neurones moteurs autonomes, régulant l'activité autonome des muscles lisses et cardiaques.

La **substance blanche** est divisée en 2 régions : postérieure laissant passer les voies ascendantes jusqu'aux centres supérieurs, et antérieure laissant le passage aux voies descendantes vers les motoneurones. [4]

1.6.2. Définition de la lésion médullaire

La « lésion médullaire » est définie comme une lésion de la moelle épinière survenue lors d'un événement traumatique ou non, selon un mécanisme de contrainte, compression ou section. [32] Les conséquences de la lésion sont : une perte sensorielle et/ou motrice des membres, du tronc ; la perte du contrôle des fonctions de régulation autonome du corps ; une altération de la respiration, du rythme cardiaque, de la pression artérielle, du contrôle de la température corporelle, des fonctions intestinales, vésicales et sexuelles. Généralement, le niveau de la lésion détermine l'étendue des altérations. [31]

En France, les blessés médullaires représentent une part non négligeable de la population avec une prévalence de 50 000 cas [33] et une incidence d'environ 2000 nouveaux cas par an. [34]

Au niveau mondial, la prévalence des lésions médullaires n'a pas pu être définie, mais nous savons que l'incidence varie entre 250 000 et 500 000 nouveaux cas par an. [31]

² <https://www.spirometrie.fr/la-spirometrie>

Selon l'HAS, les lésions médullaires **traumatiques** sont responsables de plus de 50% des étiologies [35] (accident de la voie publique AVP, accidents sportifs, chutes, plongeon en eau peu profonde, agression...). [36]

Les atteintes non traumatiques, appelées atteintes « **médicales** », représentent ¼ des cas ; ce sont des myélopathies dues à des tumeurs, infections, inflammations ou malformations de la moelle. ³

Des études ont démontré que les ¾ des patients lésés sont des hommes, et plus de la moitié d'entre eux ont moins de 35 ans. [33]

Lorsque la moelle est touchée, les séquelles sont dépendantes du niveau d'atteinte ; la paraplégie correspond à la paralysie des 2 membres inférieurs, tandis que la tétraplégie est associée à la paralysie des 4 membres et du tronc. ³

La paralysie peut concerner les fonctions motrices, sensorielles et autonomes. [31]

Le **score ASIA** (Annexe 2) constitue l'évaluation standardisée des lésions médullaires. Il évalue deux composantes, motrice et sensitive :

- Un score moteur : défini à partir de 10 muscles clés droits et gauches, incluant la recherche de la contraction anale.
- Deux scores sensitifs : un à la pique et l'autre au tact. On y fait l'évaluation de 8 dermatomes droits et gauches, en incluant l'examen des derniers métamères sacrés et la sensation du toucher rectal.

A partir de ces scores, il est possible de déterminer le niveau neurologique d'un patient, en prenant compte du segment le plus caudal ayant une fonction motrice et sensitive normale. On peut ainsi classer l'atteinte du patient en ASIA A (lésion complète motrice et sensitive) à E (fonctions normales). [28] ⁴

Il est aussi possible de quantifier le caractère complet ou incomplet de l'atteinte par l'analyse des derniers segments sacrés ⁴ :

- Complet : l'interruption de la moelle est totale, il n'y a plus aucune fonction motrice et sensitive sous le niveau lésionnel.
- Incomplet : l'interruption de la moelle est partielle, certaines fibres motrices et sensibles sont épargnées. [36] Le pronostic de récupération de certaines fonctions est meilleur que dans l'atteinte complète. [25]

1.6.3. Evolution de la lésion médullaire

L'évolution clinique du blessé médullaire se fait en 3 phases :

- Stade initial, **choc médullaire** : abolition des réflexes médullaires sous le niveau lésionnel et perte motrice et sensitive bilatérale.
- Stade secondaire, **réapparition des réflexes sous-lésionnels** : cette phase permet d'établir un diagnostic lésionnel précis. On peut déterminer le caractère complet ou incomplet de la lésion.
- Stade **final** : environ six mois après les potentielles récupérations. La situation est stable, avec l'apparition de la spasticité. [25]

³ <https://www.apf-francehandicap.org/paraplegie-tetraplegie-6559>

⁴ <https://www.academie-medecine.fr/la-reeducation-et-la-readaptation-des-blesses-medullaires/>

En général, les blessés médullaires décèdent plus précocement que les personnes non atteintes de LM, car ils sont plus susceptibles de décéder de problèmes de santé liés à leur pathologie. Il a également été mis en évidence que le risque de mortalité est le plus élevé 1 an après la lésion.

Enfin, le risque de mortalité dépendrait du niveau de lésion : les tétraplégiques décèderaient plus tôt que les paraplégiques. [31]

1.6.4. Fonction respiratoire et lésion médullaire

Les lésions médullaires sont responsables d'un syndrome respiratoire restrictif [37], avec notamment une baisse de la CV, du DEP, et de la CI. [8] En effet, en cas de lésion cervicale ou thoracique haute, la paralysie des muscles respiratoires peut entraîner une fragilité voir une insuffisance respiratoire (IR).⁵ Les patients souffrants de lésion en C3 ou au-dessus ont une CV gravement atteinte et sont fortement susceptibles de nécessiter une ventilation mécanique permanente. [31] Les complications respiratoires sont la cause la plus fréquente de mortalité chez les blessés médullaires. [28]

D'une façon générale, chez les patients paralysés des abdominaux, la réserve inspiratoire est meilleure en décubitus, alors que la réserve expiratoire est meilleure en assis. En cas d'encombrement, il est donc indispensable d'asseoir le patient au moins deux fois par jour pour faciliter l'expectoration. [36]

De plus, il a été prouvé que le port d'une ceinture abdominale lors d'une paralysie des abdominaux améliorerait la fonction respiratoire notamment la CVF, le VEMS, DEP et la PIM. [38] Ceci s'explique car la ceinture maintient les viscères ce qui diminue la ptose abdominale, [30] et permet au diaphragme de retrouver une position de repos presque normale ainsi qu'un point d'appui suffisant pour le centre phrénique pendant le phénomène d'inspiration. [28] [37]

Les complications en fonction du niveau lésionnel est décrit dans le Tableau 4 ci-dessous.

<i>Niveau de lésion</i>	<i>Musculaire</i>	<i>Volumes/Capacités</i>	<i>Toux</i>
<i>Au-dessus de C4</i>	Muscles inspiratoires paralysés. [25] Muscles expiratoires paralysés.	Nécessité d'une assistance respiratoire permanente. Toux inefficace.	
<i>En-dessous de C4</i>	Diaphragme intact. [25] Abdominaux paralysés. [36] Muscles expiratoires plus ou moins paralysés (surtout pour les lésions complètes). Innervation résiduelle de certains muscles accessoires, notamment de la portion claviculaire du grand pectoral. [8]	Respiration nucale possible grâce aux inspireurs accessoires. [25] CV fonction de l'importance de l'atteinte des intercostaux et de la souplesse de la cage thoracique. [36]	Expiration forcée et toux altérées mais dépendantes de l'innervation résiduelle des muscles accessoires. [8]

⁵ <https://www.apf-francehandicap.org/paraplegie-tetraplegie-6559>

T1-T12	Diaphragme intact. Abdominaux paralysés. [36] Innervation résiduelle des muscles accessoires, notamment de la portion claviculaire du grand pectoral. [8]	CV fonction de l'importance de l'atteinte des intercostaux et de la souplesse de la cage thoracique. [36]	Plus le niveau lésionnel thoracique diminue, plus l'efficacité de la toux s'améliore. [8]
Sous T6		CV fonction de l'importance de l'atteinte des abdominaux. [36]	Efficacité de la toux dépendante de l'importance de la paralysie des abdominaux.

Tableau 4 : Complications respiratoires en fonction du niveau lésionnel.

L'incapacité de tousser volontairement et efficacement compromet gravement la santé du blessé médullaire. [39] L'accumulation chronique de sécrétions dans leur bronches pulmonaires [7] augmente la probabilité de complications respiratoires (pneumonie, atélectasie, IR). [24] Certaines méthodes passives existent pour nettoyer les voies respiratoires comme le positionnement, l'aspiration ou la toux assistée. [25]

Depuis quelques années, la stimulation électrique fonctionnelle (SEF) s'est imposée dans la rééducation des lésions médullaires, notamment dans le renforcement musculaire, l'inhibition temporaire de la spasticité, [40] mais aussi dans l'amélioration de la fonction respiratoire grâce à son application abdominale. [41]

1.7. La stimulation électrique fonctionnelle (SEF)

1.7.1. Définition

D'après l'HAS, la SEF est l'application continue d'un courant électrique sur la peau en regard d'un nerf ou d'un muscle, pour obtenir une contraction musculaire utile au mouvement ou à une certaine fonction. [42] Parfois appelée stimulation neuromusculaire fonctionnelle (SNF), stimulation électrique neuromusculaire (SENM) ou simplement stimulation électrique [43], c'est une technique de rééducation souvent utilisée dans la pratique de la kinésithérapie.

Elle a pour but principal le renforcement musculaire, l'amélioration d'amplitudes et la rééducation motrice. [40] Dans le domaine neurologique, elle joue un rôle dans l'inhibition temporaire de la spasticité, la réduction des effets de l'immobilisation, la gestion de la douleur et des fonctions intestinales, vésicales et sexuelles. [41]

Cette stimulation est appliquée via des électrodes de surface positionnées sur les trajets de nerfs ou de muscles, de sorte à ce que la réponse attendue soit la plus efficace possible. L'intensité du courant est généralement augmentée progressivement jusqu'à obtenir la contraction souhaitée, et est patient dépendante. Cette technique peut être soit couplée à des mouvements effectués en même temps que la stimulation, soit administrée pendant plusieurs minutes afin d'activer les muscles puis être suivie d'un entraînement spécifique. [43]

1.7.2. Principes d'application et mécanisme

Le principe de cette technique est d'appliquer un courant électrique bidirectionnel de basse fréquence, selon une onde rectangulaire symétrique, avec une durée d'impulsion variant de 100 à 300 μ s, une fréquence de 20 à 70 Hz et une intensité dépendant de chaque patient mais variant de 0,1 à 120mA.

Afin de produire une contraction musculaire efficace, les impulsions de courant doivent se succéder assez rapidement. Et pour une contraction tétanique, la fréquence du courant doit être entre 50 et 70Hz.⁶ La SEF semblerait efficace dans la stimulation neuromusculaire, car le courant à basse fréquence qu'elle délivre permettrait un recrutement efficace et une action précise sur des muscles spécifiques. [44] La délivrance de ce courant permet de générer des potentiels d'action périphériques capable d'exciter le tissu neuromusculaire. Ce potentiel d'action est transmis de proche en proche depuis l'axone jusqu'à la jonction neuromusculaire, pour au final produire une contraction musculaire. [45]

Un autre type de courant peut être utilisé dans la stimulation électrique : le courant interférentiel à moyenne fréquence selon une méthode d'application bipolaire. Le courant envoyé est un courant bidirectionnel à moyenne fréquence qui ne permet normalement pas d'obtenir une stimulation motrice efficace.

Cependant, dans ce type de courant interférentiel, l'intensité du courant est modulée afin de provoquer des ondulations répétées à basse fréquence. Ce type de courant ressemble à celui utilisé pour le TENS mais a une action plus profonde ; il permet donc de stimuler les nerfs moteurs et sensitifs, et ainsi d'obtenir une contraction musculaire efficace.⁷

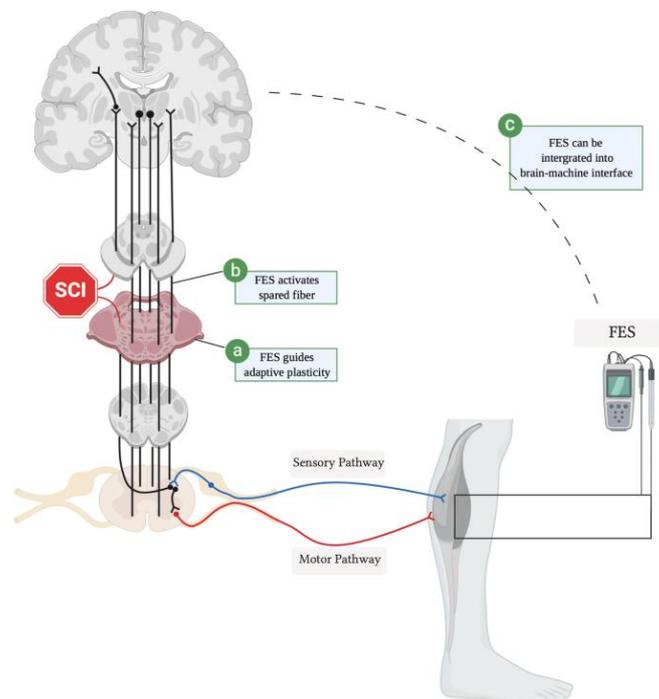


Figure 4 : Principe de la SEF. [46]

⁶ <https://electrologie.umontreal.ca/modalites/electriques/stimulation-neuromusculaire-electrique-nmes/>

⁷ <https://electrologie.umontreal.ca/modalites/electriques/interferentiel/>

Pour provoquer une contraction musculaire, la SEF est utilisée au niveau des nerfs périphériques et non directement au niveau des muscles ; elle peut être utilisée sur toute la longueur du nerf, de son origine à la connexion neuromusculaire. En effet, la quantité de courant électrique nécessaire à la stimulation directe de la fibre musculaire est trop importante comparé à celle nécessaire à la dépolarisation de l'axone neuronal. Par conséquent, la SEF est une méthode de stimulation nerveuse et non musculaire. Ainsi, la préservation du neurone moteur inférieur et de la jonction neuromusculaire est essentielle pour la SEF. [44]

De plus, la densité du courant (quantité par unité de surface) est importante à contrôler pour savoir si une stimulation va recruter assez d'unités motrices. La taille des électrodes est un indicateur de ce paramètre ; au plus elles sont petites, au plus la densité de courant sera importante autour d'elles.

Enfin, plusieurs paramètres peuvent être ajustés lors de l'application du courant : l'amplitude (mA), la durée d'impulsions (microsecondes), la fréquence, la forme d'onde et le rapport cyclique. [40]

1.7.3. Composants et électrodes

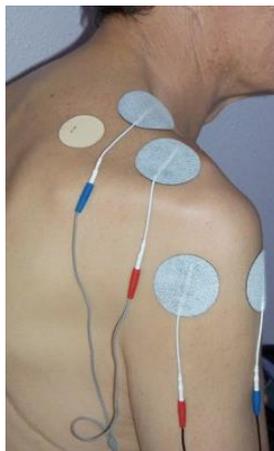
Le système de stimulation électrique fonctionnelle se compose souvent d'une source d'alimentation portable, d'un stimulateur électronique, d'une unité de contrôle, de câbles et d'électrodes et de capteurs. [44]

Le courant est délivré via au moins 2 électrodes, [40] par voie transcutanée (électrodes de surface), percutanée ou implantées. [44]

Électrodes de surface transcutanées : les électrodes sont placées sur la peau, en regard des nerfs et des muscles recherchés, et reliées au stimulateur via des câbles. On en utilise deux, une à la partie proximale, l'autre à la partie distale de la zone.

Avantages : utilisation sécurisée, peu coûteux.

Inconvénient : manque de précision dans le positionnement des électrodes donc manque de précision dans les muscles à contracter. Idéal en thérapeutique et court terme.



*Photo 1 : Exemple d'électrodes de surface.*⁸

Électrodes percutanées : ce processus est idéal pour une utilisation à long terme. Les électrodes, les fils conducteurs et le stimulateur sont implantés, tandis que l'unité de contrôle et la source d'alimentation sont à l'extérieur.

⁸ <https://www.ks-mag.com/article/6061-stimulation-electrique-fonctionnelle-de-l-epaule>

Les électrodes sont placées chirurgicalement à côté du nerf (épineurale), autour du nerf (périneural), au point moteur sur la fibre musculaire (épimysiale) ou à l'intérieur du muscle (intramusculaire).

Avantages : bonne spécificité musculaire, bons recrutements avec des courants faibles. Beaucoup de succès dans certains domaines : contrôle vésical, nerf phrénique pour la respiration, gestion de la douleur, gestion de l'épilepsie par stimulation des nerfs crâniens.

Inconvénients : méthode invasive et temps de mise en place plus long.

Dans le cadre de cette revue, la SEF est utilisée par voie transcutanée, avec des électrodes de surface placées au niveau des muscles abdominaux principalement ; elle permet la contraction de ces groupes musculaires lors du phénomène de toux chez des blessés médullaires atteints de paralysie abdominale.

1.7.4. Contre-indications et limites

Les **contre-indications** à la SEF sont les suivantes : [40]⁹

- Patients porteurs de stimulateur cardiaque
- Problèmes cardiaques : arythmie, insuffisance cardiaque congestive
- Problèmes circulatoires, Thrombose Veineuse Profonde / Thrombus / Embolie
- Grossesse
- Trouble de la sensibilité
- Troubles cognitifs
- Plaies cicatrisantes
- Fracture instable / Ostéoporose / Chirurgie instable
- Epilepsie
- Patients à risque d'hémorragie
- Infection, Tuberculose
- Malignité / Néoplasie
- Peau fragilisée par la radiothérapie
- Région abdominale inférieure, au risque d'augmenter la motilité gastro-intestinale

Enfin, pour cette technique de stimulation électrique fonctionnelle, il existe une **limite** principale : la fatigue musculaire.

Ce paramètre limitant survient car le muscle activé « artificiellement » n'est pas capable de fournir une tension constante de manière prolongée. [45] Les premières séances de rééducations associées à cette méthode seront courtes, jusqu'à ce que le muscle puisse tolérer des séances plus longues sans fatigue musculaire. [43]

1.8. Objectif(s) de la revue de littérature

Après avoir décrit les différentes notions respiratoire, neurologique et électrique, une question se pose : **quel est l'intérêt de la SEF des abdominaux dans l'amélioration de la toux et de la fonction respiratoire chez le patient blessé médullaire avec paralysie abdominale ?**

Dans les pages suivantes, la méthode de la revue sera décrite (recherche, sélection d'articles, extraction de données), suivie de la présentation des résultats de chaque article scientifique. La discussion conclura cette revue en exposant une analyse, une critique des résultats rapportés, et une ouverture sur des perspectives scientifiques concernant le sujet étudié.

⁹ <https://electrologic.umontreal.ca/modalites/electriques/stimulation-neuromusculaire-electrique-nmes/>

2. Méthode

Afin de répondre au mieux à la question thérapeutique énoncée à la page précédente, la revue de littérature systématique semble la plus adaptée car elle répond à un objectif précis basé sur un modèle PICO. La sélection d'articles scientifiques se fera grâce à ce modèle préalablement défini et selon des critères prédéfinis. L'évaluation est rigoureuse et critique, et la synthèse de résultats sera qualitative. Enfin, la conclusion s'appuiera sur des preuves scientifiques.

2.1. Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1. Critères d'inclusion

La **Population** étudiée est définie par les blessés médullaires ayant une paralysie abdominale. Les populations sont préférentiellement choisies si elles présentent des difficultés respiratoires, et notamment une toux inefficace. Elle regroupe des hommes et des femmes de tout âge, souffrant de tétraplégie ou de paraplégie d'étiologie traumatique ou « médicale ».

Tous les patients doivent présenter une paralysie abdominale, et donc un niveau de lésion cervical ou thoracique haut.

L'**Intervention** évaluée est la stimulation électrique fonctionnelle de surface des abdominaux. Les modalités d'utilisation et d'application sont focalisées sur les muscles abdominaux, mais la stimulation fonctionnelle électrique d'autres muscles accessoires (grand pectoral par exemple) est acceptée aussi, même si ses résultats n'influenceront pas spécialement notre conclusion. La stimulation électrique peut être associée à d'autres techniques de physiothérapie, comme une participation manuelle du MK, une rééducation conventionnelle ou autre. Certaines de ces techniques constitueront le comparateur.

Le **Comparateur** correspond au « témoin » utilisé pour juger de l'efficacité ou non de l'intervention étudiée. Dans cette revue, plusieurs comparateurs sont acceptés ; rééducation orthophonique, programme conventionnel de rééducation (mobilisations passives, travail de l'équilibre, renforcement musculaire des membres supérieurs si patients paraplégiques...), des applications de courants électriques trop faibles pour produire une contraction musculaire (stimulation à effet « placebo »).

Le **critère de jugement** est l'élément qui permettra de juger de l'efficacité ou non de l'intervention. Les variations de ce critère seront observées afin d'en conclure si l'intervention a un effet bénéfique pour notre population. Dans cette revue, les indicateurs sont l'efficacité de la toux et la fonction respiratoire. L'efficacité de la toux sera principalement appréciée grâce au DEP. La CVF nous permettra d'apprécier la fonction respiratoire. L'effet de la stimulation sur plusieurs autres paramètres respiratoires tels que le Volume Expiratoire Maximal en 1 Seconde (VEMS), la Capacité vitale (CV), la Capacité Inspiratoire (CI), la Pression Expiratoire Maximale (PEM) et la Pression Inspiratoire Maximale (PIM) sera analysé afin de conclure d'une certaine efficacité sur la fonction respiratoire des patients.

Enfin, les **Essais Contrôlés Randomisés** et les **Essais Croisés Randomisés** sont, d'après l'EBP, les études les plus précises et les mieux adaptées pour répondre à une question thérapeutique. Dans les essais contrôlés randomisés, les patients sont généralement répartis aléatoirement dans des groupes d'étude homogènes. Concernant les essais croisés randomisés, les patients sont affiliés aléatoirement à un programme d'entraînement prédéfini (souvent période d'entraînement spécifique / période d'entraînement classique alternées). Ces essais permettent de réduire le risque de biais.

Le modèle PICO est synthétisé dans le Tableau 5.

Population	Patients blessés médullaires avec paralysie abdominale
Intervention	Stimulation Electrique Fonctionnelle
Compareur	Programme de rééducation ou Absence de rééducation
Outcome (critère de jugement)	DEP pour évaluer l'efficacité de la toux et CVF pour la fonction respiratoire

Tableau 5 : Modèle PICO de la revue de littérature.

2.1.2. Critères d'exclusion

Avant la sélection d'articles, les critères d'exclusion suivants ont été établis :

- Les articles incluant des patients sains
- Les articles incluant des patients présentant des lésions autres que lésions médullaires
- Les articles qui n'étaient pas des essais cliniques randomisés ou des essais croisés randomisés
- Les revues systématiques et les méta-analyses
- Les articles utilisant la SEF comme intervention mais évaluant des critères de jugement différents de ceux évalués dans cette revue
- Les articles datant de plus de 15 ans
- Les articles rapportant leurs résultats sous la forme de pourcentages

2.2. Méthodologie de recherche des études

L'investigation de 4 bases de données électroniques ont permis de recueillir un certain nombre d'ECR utiles à la rédaction de la revue ; PubMed, Pedro, Cochrane et Google Scholar. Ces bases ont également été utilisées pour la recherche de documentations pour la rédaction du reste du mémoire.

Ces recherches ont permis de finaliser la question thérapeutique qu'il a été décidé de traiter dans cette revue : Quel est l'intérêt de la SEF des abdominaux dans l'amélioration de la toux chez le patient blessé médullaire avec paralysie abdominale ?

Après la validation de cette question, l'extraction des mots « spinal cord injury », « electrical stimulation », « cough », « abdominal paralysis », « forced expiratory volume », « forced vital capacity », ainsi que la recherche de leurs synonymes ont permis d'élaborer une équation de recherche adaptée à chaque base de données électronique.

Aucune restriction linguistique n'a été mise en place, et les articles sélectionnés ne devaient pas être plus vieux que 15 ans. La recherche et la sélection d'article ainsi que la rédaction de l'introduction ont été réalisés d'août à décembre 2021.

- PubMed

PubMed est le principal moteur de recherche de données bibliographiques regroupant plus de 33 millions de données scientifiques. Ce moteur de recherche est gratuit, mais ne compte pas que des articles gratuits ; en effet, certains articles sont payants et ne proposent pas un accès libre. Cette équation a proposé **27 articles**.

Search: **((spinal cord injury) OR (tetraplegia) OR (paraplegia)) AND (electrical stimulation) AND ((abdominal paralysis) OR (paralyzed abdominals)) AND ((peak expiratory flow) OR (cough) OR (forced vital capacity) OR (forced expiratory volume))**

Figure 5 : Capture d'écran de l'équation de recherche PubMed.

- Pedro

« Physiotherapy Evidence Database » est aussi une base de données gratuite regroupant plus de 53 000 essais, revues et recommandations cliniques évaluant des interventions dans le domaine de la physiothérapie.

Sur cette base de données, 2 équations de recherche ont été réalisées car il n'est pas possible de mettre des opérateurs booléens comme sur PubMed. Cette équation a proposé **7 articles**.

Search term (or terms): tetraplegic electrical stimulation cough
 Search term (or terms): spinal cord injury electrical stimulation cough

Figure 6 : Capture d'écran des équations de recherche Pedro.

- Cochrane

La Cochrane Library compte six bases de données, proposant de nombreuses revues systématiques et de nombreux essais cliniques randomisés, tous avec un niveau de preuve scientifique élevé. Cette équation a proposé **14 articles**.

#1	("tetraplegic") OR ("paraplegic"):ti,ab,kw OR ("spinal cord injury"):ti,ab,kw OR ("tetraplegia"):ti,ab,kw OR ("paraplegia"):ti,ab,kw (Word variations have been searched)	S	Limits	3976
#2	("functional electrical stimulation"):ti,ab,kw OR ("electrical stimulation"):ti,ab,kw (Word variations have been searched)	S	Limits	9033
#3	("abdominals"):ti,ab,kw (Word variations have been searched)	S	Limits	44088
#4	("peak expiratory flow"):ti,ab,kw OR ("cough"):ti,ab,kw OR ("forced vital capacity"):ti,ab,kw OR ("forced expiratory volume"):ti,ab,kw	S	Limits	31992
#5	#1 AND #2 AND #3 AND #4	Limits		14

Figure 7 : Capture d'écran de l'équation de recherche sur Cochrane Library.

Une fois la recherche et la sélection d'articles effectuées selon la question thérapeutique, la qualité méthodologique des études choisies doit être analysée. Enfin, l'ensemble des données devront être extraites, analysées et synthétisées.

- Google Scholar

Google Scholar est une base de données regroupant un grand nombre d'articles et de publications scientifiques. Les documents étant très nombreux sur cette base, la recherche réalisée a été la plus précise possible afin d'obtenir un nombre de résultats raisonnable et interprétable. L'équation était la suivante : « *trial, spinal cord injury, tetraplegia, quadriplegia, functional electrical stimulation, abdominal paralysis, cough, forced expiratory volume, forced vital capacity -review* ».

Une sélection sur la date a été appliquée, avec une sélection de documents datant de 2007 à 2022. Cette recherche a abouti à **31 résultats**.

2.3. Extraction et analyse des données

2.3.1. Sélection des études

Après avoir rentré l'équation de recherche, une première sélection d'articles a été réalisée sur la lecture des titres. Si le titre convenait à l'équation, l'abstract était lu à son tour.

Avant de faire une lecture complète des études, les doublons ont été exclus s'ils en existaient sur les différentes bases de données scientifiques. Après ceci, la lecture précise de l'article a été réalisée.

Les articles étaient sélectionnés si les critères d'inclusion suivant étaient respectés :

- Des études correspondant à des essais cliniques randomisés ou essais croisés randomisés, peu importe leur langue de publication
- Des études incluant des patients majeurs de plus de 18 ans
- Des études prenant compte des patients blessés médullaires, paraplégiques et tétraplégiques, mais souffrant de paralysie abdominale
- Des articles incluant des patients avec une toux inefficace et des problèmes d'expectoration
- Des articles tenant compte de critères de jugement basés sur l'efficacité de la toux et les capacités respiratoires
- Des articles pas plus vieux que 15 ans (2007)

Une fois sélectionnés, les articles ont été enregistrés sur Mendeley Desktop.

Un diagramme de flux présentant le processus de sélection des études sera présenté plus tard.

2.3.2. Extraction des données

L'extraction des données a permis de récolter les données nécessaires à la rédaction des résultats. Un tableau récapitulatif des données de chaque étude sera détaillé plus loin regroupant selon le modèle PICO : le type d'étude, la taille de l'échantillon, l'âge moyen et le sexe des participants, les niveaux de lésions médullaires, le type d'intervention et quelques modalités, l'intervention « témoin » servant de comparateur et enfin les critères de jugement évalués.

2.3.3. Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

L'échelle PEDro a permis d'évaluer la qualité méthodologique des essais cliniques randomisés, selon 1 critère évaluant la validité externe, 8 critères évaluant la validité interne et 2 critères évaluant l'information statistique.

Le score PEDro final est ramené sur 10 points. Plus le résultat est proche de 10, plus grande est la qualité de l'étude. (Annexe 3) La qualité des études sera prise en compte dans l'analyse des résultats et leur interprétation.

Cette échelle rend également compte des différents biais :

- Biais de sélection : absence de randomisation (tirage au sort), groupes non comparables, pas d'assignation secrète (item 2 à 4).
- Biais d'évaluation : respect du concept d'étude menée « en aveugle » (participants, thérapeutes et examinateurs) (item 5 à 7).
- Biais de suit : différences de prise en charge au niveau du groupe traité et du groupe témoin, moins de 85% de données recueillies à la fin de l'étude (item 8).
- Biais d'attrition : différences entre groupes initiaux et groupes finaux (sorties d'essai ou interruption de traitement, perdus de vue, données manquantes) (item 9).

Un tableau résumant la présence de ces biais ou non dans les articles sera établi dans la partie résultats.

2.3.4. Méthode de synthèse des résultats

Les résultats de chaque étude seront extraits et analysés. Ils seront synthétisés dans des tableaux spécifiques pour chaque article. Les données suivantes seront regroupées :

- Valeurs des paramètres sous la forme Moyenne \pm écart-type (SD)
- Valeur p statistique
- Taille de l'effet
- Intervalle de confiance à 95%

Ces tableaux nous permettront de comparer les données et de juger si les résultats sont statistiquement significatifs ou non. En fonction de cela, nous pourrons conclure sur l'efficacité ou non du traitement proposé qui est la stimulation électrique fonctionnelle des abdominaux.

Enfin, un tableau récapitulatif des critères de jugements évalués dans chaque article sera présenté à la fin de la partie « 3. Résultats ».

3. Résultats

3.1. Description des études

3.1.1. Sélection des études : diagramme de flux

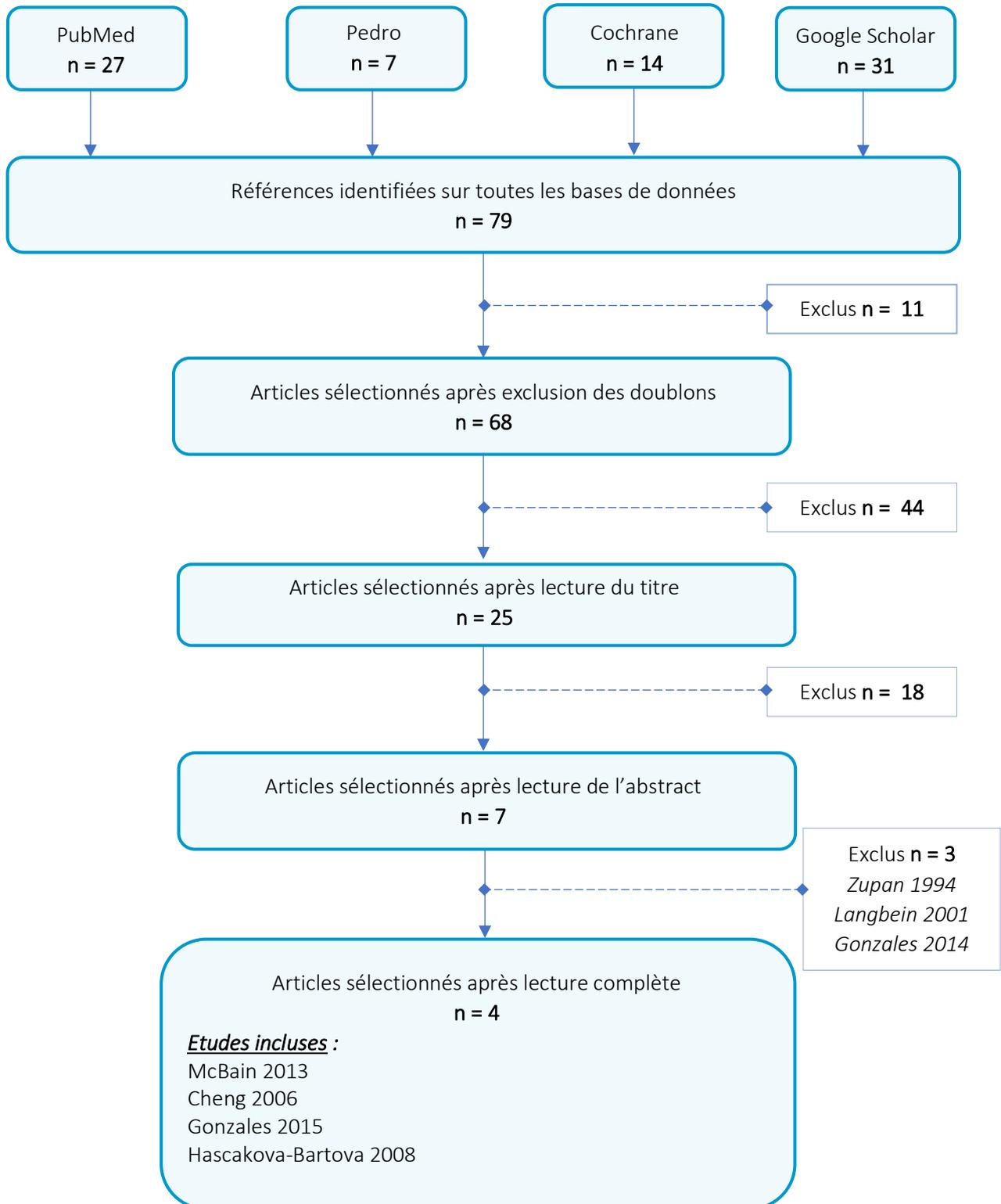


Figure 8 : Diagramme de Flux.

Le processus de recherche d'études a commencé par la rédaction d'une équation de recherche précise mais offrant assez de résultats pour exploiter le sujet choisi. L'équation a été adaptée aux différentes bases de données sélectionnées : PubMed, Pedro, Cochrane et Google Scholar. Ces 4 bases ont été retenues car elles présentaient un nombre de résultats suffisants à la rédaction de cette revue.

Parmi ces bases, 79 articles et documents ont été trouvés au total. Après suppression de 30 doublons, 68 articles ont été analysés sur la base du titre puis de l'abstract.

Après lecture des titres, 44 articles ont été exclus laissant 24 articles à traiter sur la base de l'abstract. Après lecture de l'abstract, 17 articles ont été exclus laissant 7 articles à analyser sur lecture complète. Les articles ont été exclus car l'essai ne correspondait pas au schéma d'étude attendu, ou bien que les résultats n'étaient pas présentés sous un format interprétable.

La lecture complète de ces 7 articles a mené à l'exclusion de 3 études selon les raisons suivantes :

<i>Etudes exclues</i>	Raison(s) d'exclusion
Zupan1997	Mesures des critères de jugement exprimées en pourcentages donc non exploitables selon notre méthode d'analyse des résultats.
Langbein2001	Ne correspond pas au schéma d'étude d'un essai clinique randomisé.
Gonzales2014	Mesures des critères de jugement exprimées en pourcentages donc non exploitables selon notre méthode d'analyse des résultats.

Tableau 6 : Raisons d'exclusion des articles après lecture complète.

Les 4 articles restants sont les articles finaux qui ont été analysés.

Le diagramme de flux présenté à la page précédente illustre ce processus de sélection des études.

Pour faciliter la compréhension de la revue, les noms des études seront indiqués sous la forme « Auteur Année » comme suivant : **McBain2013** [47], **Cheng2006** [48], **Gonzales2015** [49] et **Hascakova-Bartova2008** [50].

Les études seront décrites dans la partie suivante, dans un tableau récapitulatif réalisé selon le modèle PICO.

3.1.2. Etudes incluses

3.1.2.1. Population

Nous avons décidé d'inclure 4 études dans notre revue, avec un total de 77 sujets analysés dont 48 ont reçu le traitement analysé qu'est la stimulation électrique de surface. Les caractéristiques de chaque population, le type d'intervention réalisée, les comparateurs et critères de jugement sont résumés dans le Tableau 6.

La majorité des patients étaient des hommes (81,8%). Dans les études McBain2013, Hascakova-Bartova2008 et Gonzales2015 les patients n'étaient pas plus jeunes que 18 ans et pas plus vieux que 71 ans. Dans la dernière étude, uniquement les moyennes d'âge sont données pour chaque groupe ; les valeurs sont données dans le Tableau 6 récapitulatif.

Cheng2006 et Gonzales2015 n'ont pris en compte que des patients tétraplégiques avec uniquement des lésions cervicales jusqu'à C7. Les 2 autres études ont inclus des patients tétraplégiques et paraplégiques, acceptant des niveaux de lésion allant jusqu'à T10 pour Hascakova-Bartova2008 et jusqu'à T6 pour McBain2013. Les patients avec un score ASIA C sont inclus dans les études McBain2013 et Hascakova-Bartova2008. Cheng2006 n'inclut que des patients ayant un score ASIA A ou B. L'étude Gonzales2015 ne précise pas les score ASIA des patients inclus.

3.1.2.2. Type d'intervention et comparateurs

L'objectif commun est d'étudier l'effet de la stimulation électrique des abdominaux sur l'amélioration de l'efficacité de la toux et des capacités respiratoires chez les blessés médullaires.

Les études Cheng2006 et Hascakova-Bartova2008 ont utilisé la SENM mais 2 appareils différents : Respond Select Neuromuscular Stimulator et Cefar Rehab 4 Pro respectivement. L'étude Gonzales2015 utilise une électrothérapie de surface de moyenne fréquence (Sonopuls 992+) sur les abdominaux des patients, tandis que McBain2013 utilise la SEF mais le type exact d'appareil n'est pas précisé.

3 études ont comparé cette intervention à un groupe témoin qui pouvait être de la stimulation électrique mais à une fréquence trop faible pour recruter des fibres musculaires (Hascakova-Bartova2008), un programme de rééducation conventionnel (Cheng2006) ou un programme d'exercice d'orthophonie (Gonzales2015). L'étude McBain2013 étant un essai croisé randomisé, tous les sujets ont reçu le traitement et chacun était son propre témoin. Dans cette étude la période d'entraînement avec la SEF était comparée à une période d'entraînement à la toux mais sans SEF.

Chaque étude a comparé 2 groupes, excepté Hascakova-Bartova2008 qui a fini son étude avec 3 groupes : un expérimental, un témoin, et un groupe combiné ayant effectué un entraînement avec la stimulation électrique et un entraînement sans. Dans notre analyse de résultats, nous prendrons ainsi en compte le groupe expérimental et le groupe combiné.

Les modalités d'application de la stimulation diffèrent selon les études.

<i>Etudes</i>		<i>Type de stimulation</i>	<i>Durée d'impulsion</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Train d'impulsion</i>
McBain 2013		Onde rectangulaire	200µs	50 Hz	3 secondes
Gonzales 2015		Courant interférentiel à moyenne fréquence, application bipolaire	2500 Hz avec modulation de fréquence de 25Hz		
Cheng 2006		Onde biphasique	300µs	30 Hz	4 secondes
Hascakova-Bartova 2008	<u>Expérimental</u>	Onde carrée biphasique	300µs	25Hz à 40Hz	6 secondes
	<u>Contrôle</u>		50µs	2 à 5Hz	

Tableau 7 : Modalités d'application de la stimulation électrique dans les différentes études.

Pour l'étude Gonzales2015, la durée d'impulsion et le train d'impulsion n'ont pas été renseignés. Dans chaque étude, l'intensité du courant appliqué était déterminée selon le seuil de réponse musculaire de chaque patient ; les intensités étaient augmentées par incrément de 20 à 50 mA.

De plus, les patients de chaque population devaient être capables de tolérer l'électrostimulation, et ne devaient présenter aucune contre-indications à cette méthode. L'application du traitement s'est faite pendant que les patients étaient assis.

Les placements des électrodes, la fréquence et la durée du traitement sont détaillés pour chaque étude dans le Tableau 6 synthétique.

3.1.2.3. Critères de jugement

Les deux critères de jugement principaux sont le Débit Expiratoire de Pointe (DEP) pour évaluer l'efficacité de la toux, et la Capacité Vitale Forcée (CVF) pour évaluer la fonction respiratoire. Le DEP est évalué dans deux études : **McBain2013** et **Cheng2006**. La CVF est évaluée dans trois articles : **Gonzales2015**, **Cheng2006** et **Hascakova-Bartova2008**.

Des critères de jugement secondaires sont mesurés dans les études, ajoutant une plus-value à nos critères de jugement principaux. Ils correspondent au VEMS, à la CI, CV, PIM et PEM, P_{gas} et P_{oes} .

Les volumes (DEP, CVF, VEMS, CI et CV) sont évalués par spirométrie en laboratoire, mais avec des appareils différents :

- Schiller AT-60 pour Hascakova-Bartova2008
- Chest Graph HI-700 pour Cheng2006
- Inspiromètre Interface PDD-301/s pour Gonzales2015

Le type de spiromètre utilisé dans l'étude McBain2013 n'a pas été précisé.

Les pressions sont évaluées par d'autres dispositifs :

- P_{gas} et P_{oes} : chacune mesurée par un transducteur de pression monté sur un cathéter gastroœsophagien (CTG-2, Gaeltec Ltd)
- PIM et PEM : Micromètre de Pression buccale médicale (Micro Medical Limited 2001)

A propos de la PIM et la PEM, elles sont le reflet de la force des muscles respiratoires (expiratoires et inspiratoires). La PEM est mesurée après une expiration profonde jusqu'au volume résiduel, tandis que la PIM est mesurée après une inspiration profonde jusqu'à la capacité pulmonaire totale. Les valeurs de référence sont patient-dépendant (âge, sexe). [48]

La P_{oes} et la P_{gas} mesurées lors d'un effort de toux permettent d'évaluer l'efficacité des muscles expiratoires. [51] La P_{oes} est le reflet de la pression pleurale tandis que la P_{gas} équivaut à la pression abdominale. Grâce à ces deux paramètres il est aussi possible d'analyser la paralysie ou non du diaphragme grâce au calcul de la pression diaphragmatique (P_{di}) : $P_{\text{di}} = P_{\text{gas}} - P_{\text{oes}}$. [52]

Etudes	Schéma d'étude	Population				Intervention			Comparateur	Outcome
		Groupe	Genre (H/F)	Age moyen (ans)	Niveau lésionnel et Temps écoulé	Type et Outil	Placement	Fréquence / Suivi		
McBain 2013 [47] <i>Australie</i>	Essai croisé randomisé	1 = 8 2 = 7 n = 15	15 H	n : 45 (± 4)	n : 11,9 ans (± 4,3) De C4 à T5 ASIA A à C	SEF	2 électrodes bilatérales sur la paroi thoraco-abdominale, postérolatéral.	5 séries de 10 toux stimulées, 5 jours / semaine, sur 6 semaines. 12 semaines	Même programme d'entraînement mais sans SEF.	DEP, P _{gas} , P _{oes} , P _{art} (VEMS, CVF, CV, CI évalués sans SEF)
Gonzales 2015 [49] <i>Cuba</i>	Essai contrôlé randomisé	1 = 13 2 = 13 n = 26	1 : 9/4 2 : 9/4 (18H + 8F)	1 : 28,31 (± 9,46) 2 : 29,54 (± 7,74)	<u>En mois</u> : 1 : 21,85 (± 26,32) 2 : 37,08 (± 36,53) De C4 à C7	Electrothérapie de surface de moyenne fréquence Sonopuls 992+	4 électrodes abdominales, projection sur les droits de l'abdomen.	20 séances de 10 minutes de stimulation + séance de rééducation orthophonique 4 semaines	Programme d'exercice d'orthophonie (1h 6 j/semaine, sur 4 semaines) : techniques de contrôle respiratoire, entraînement des muscles expiratoires et inspiratoires, lecture de mots, exercice d'allongement des voyelles.	CVF, CI, temps maximum de phonation
Cheng 2006 [48] <i>Taiwan</i>	Essai contrôlé randomisé	1 = 13 2 = 13 n = 26	1 : 10/3 2 : 11/2 (21H + 5F)	1 : 38,8 (± 14,9) 2 : 34,7 ± 12,5)	<u>En mois</u> : 1 : 2,5 (± 0,8) 2 : 2,4 (± 0,7) De C4 à C7 ASIA A à B	SENM Respond Select Neuromuscular Stimulator	Paroi abdominale et partie claviculaire du grand pectoral.	30 mn de SENM + Rééducation, 5 jours / semaine. 4 semaines	Programme de rééducation conventionnel : mobilisations passives, équilibre assis, entraînement fonctionnel des membres supérieurs.	DEP, VEMS, CVF, CV, PIM, PEM, Survenue de complications pulmonaires
Hacakova-Bartova 2008 [50] <i>Bruxelles</i>	Essai contrôlé randomisé (étude pilote)	1 = 3 2 = 4 3 = 3 n = 10	1 : 3H 2 : 4H 3 : 2H /1F (9H+1F)	1 : 43,6 2 : 40 3 : 45 1+2 : 42 (± 19) 2+3 : 44 (± 18)	<u>En mois</u> : 1 : 189,3 2 : 5,75 3 : 13 De C5 à T10 ASIA A à C	SENM Cefar Rehab 4 Pro	8 électrodes sur les obliques externes et le droit de l'abdomen.	25 mn, 5 jours / semaines. 8 semaines	SENM avec intensité et fréquence ne provoquant pas de contraction musculaire.	CVF, transit colique, échelle de satisfaction

Tableau 8 : Tableau synthétique des 4 études incluses dans la revue.

3.2. Risque de biais des études incluses

La qualité méthodologique de chaque étude a été évaluée grâce à l'échelle PEDro (Annexe 3). Cette échelle regroupe 11 items dont le premier n'est pas comptabilisé dans le score final.

Les scores PEDro ont été calculés pour chaque étude incluse et ramenés sur 10. Le tableau suivant résume les items validés ou non par chaque étude.

Etudes	Items											Score /10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
McBain 2013		x		x								2
Gonzales 2015	x	x		x						x	x	4
Cheng 2006		x		x			x			x	x	5
Hascakova-Bartova 2008	x	x		x				x		x	x	5

Tableau 9 : Score PEDro des études sélectionnées pour cette revue.

X : item validé

Après analyse des scores PEDro de chaque étude, nous remarquons que 2 items sont toujours validés dans les 4 études :

- Item 2 : « Les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement) »
- Item 4 : « Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants »

De plus, Gonzales 2014, Cheng 2006 et Hascakova-Bartova 2008 valident les items 10 et 11 qui sont :

- Item 10 : « Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels »
- Item 11 : « Pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité »

L'item 7 « Tous les examinateurs étaient « en aveugle » pour au moins un des critères de jugement essentiels » est validé uniquement par l'étude Cheng 2006.

L'item 8 « Les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes » n'est validé que par l'essai Hascakova-Bartova 2008.

Enfin, les 4 items suivants n'ont été validés par aucune étude de cette revue :

- Item 3 : « La répartition a respecté une assignation secrète »
- Item 5 : « Tous les sujets étaient « en aveugle » »
- Item 6 : « Tous les thérapeutes ayant administrés le traitement étaient « en aveugle » »
- Item 9 : « Tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôlée conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysés « en intention de traiter » »

L'item 1 concernant les critères d'éligibilité des études n'est pas comptabilisé dans le score final. Il a tout de même été respecté dans 2 études : Gonzales 2015 et Hascakova-Bartova 2008. Il témoigne de la validité externe d'une étude.

Pour rappel, au plus le score est proche de 10, au plus la qualité méthodologique de l'étude est élevée. L'étude McBain 2013 a la plus faible qualité méthodologique, avec le score PEDro le plus bas (2/10). Cheng 2006 et Hascakova-Bartova 2008 possède la meilleure qualité méthodologique parmi les études incluses. Cependant, un score PEDro de 5/10 ne reflète pas une qualité méthodologique assez importante.

L'établissement de ce score permet d'identifier les différents types de biais présents dans chaque étude. Chaque item correspond à un biais. Comme il l'a été précisé dans la partie Méthodologie de cette revue :

- Items **2 à 4** : biais de sélection
- Items **5 à 7** : biais d'évaluation
- Items **8** : biais de suivi
- Item **9** : biais d'attrition

<i>Etudes</i>	<i>BIAIS</i>			
	Sélection	Evaluation	Suivi	Attrition
McBain 2013	X	X	X	X
Gonzales 2015	X	X	X	X
Cheng 2006	X	X	X	X
Hascakova-Bartova 2008	X	X		X

Tableau 10 : Synthèse des biais présents dans les études de la revue.

Le biais de sélection est retrouvé dans toutes les études, malgré que les items 2 et 4 soient toujours validés (cf Tableau7).

Nous pouvons conclure de ce tableau que tous les biais sont présents dans les 4 études, hormis le biais de suivi qui n'est pas présent pour Hascakova-Bartova 2008.

3.3. Effets de l'intervention sur les critère(s) de jugement(s) de la revue

Deux critères de jugement principaux sont évaluables et comparables entre les études : le **DEP** pour évaluer l'efficacité de la toux et la **CVF** pour évaluer la fonction respiratoire. Cependant certains articles analysent d'autres critères de jugement pouvant être représentatifs de l'efficacité de la toux et de la fonction respiratoire. Les tableaux suivants résument les valeurs de chacun des critères de jugement que nous avons sélectionné. Sont indiqués les résultats avant et après intervention pour chaque groupe, le p value qui est la valeur utilisée pour juger un résultat statistiquement significatif ou non, les tailles d'effet et intervalles de confiance (IC) à 95%.

3.3.1. McBain 2013 [47]

Dans cet essai croisé, 13 des 15 patients inclus ont terminé l'étude. L'entraînement comprend 5 séries de 10 toux volontaires maximales combinées à la stimulation. Les toux étaient chronométrées avec une pause de 7 secondes entre chacune d'elle. Les séries étaient espacées d'une pause de 3 à 5 minutes. Chaque participant a reçu les 2 « traitements » : la SEF couplée à un entraînement, et l'entraînement seul. Au début de l'étude, les fonctions respiratoires de chaque patient ont été mesurées. Après assignation aux groupes, de nouvelles mesures du DEP et de P_{gas} et P_{oes} ont été effectuées, sous SEF pour les patients qui étaient en période expérimentale, et sans SEF pour les patients en période contrôle. Après ces nouvelles mesures, les 6 semaines d'entraînement ont eu lieu. Les mesures ont à nouveau été réalisées à la fin des 6 premières semaines.

Le **DEP**, la pression œsophagienne (P_{oes}) et la pression gastrique (P_{gas}) ont été évalués avant tout entraînement avec et sans SEF, et après entraînement à la toux. Les mesures ont été effectuées à S0, S6 et S12. Les entraînements et mesures ont été réalisés quand les patients étaient assis dans leur fauteuil roulant.

La pression œsophagienne (P_{oes}) et la pression gastrique (P_{gas}) sont analysées dans cet article et il semblait intéressant de les prendre en compte afin d'évaluer l'efficacité des muscles expiratoires. [51] Ces pressions sont mesurées grâce à un cathéter gastroœsophagien inséré par le nez, monté d'un transducteur de pression positionné dans l'estomac (mesure de P_{gas}) et un transducteur 20 cm au-dessus mesurant P_{oes} . [47]

Concernant le **DEP** :

- Avant tout entraînement, les mesures sans stimulation sont de $2,1 \pm 0,39$ L/s et ont augmenté jusqu'à $3,1 \pm 0,39$ L/s avec la stimulation.
- Les mesures avec SEF présentent une différence intra-groupe de 0,5 L/s, passant de $3,1 \pm 0,39$ L/s avant l'entraînement à $3,6 \pm 0,77$ L/s après l'entraînement, avec un $p < 0,05$ significatif.
- Les mesures sans SEF montrent une augmentation de 0,4 L/s, passant de $2,1 \pm 0,39$ L/s à $2,5 \pm 0,77$ L/s après entraînement, avec un $p > 0,05$ non significatif.

La taille d'effet de la SEF seule est de 1 L/s avec un intervalle de confiance de [0,71 ; 1,29].

La taille d'effet de la SEF après l'entraînement est de 1,1 L/s avec un intervalle de [0,52 ; 1,68].

Les intervalles de confiance ne croisent pas zéro mais les tailles d'effet restent faibles.

Il est judicieux de préciser que les différences intra-groupes avant et après entraînement sont quasiment similaires entre les deux groupes (0,4 à 0,5 L/s) : la taille d'effet de l'entraînement à la toux est de : $0,5 - 0,4 = 0,1$ L/s.

<i>Outcome</i>	<i>Types de mesures</i>	<i>Avant entraînement</i>	<i>Après entraînement</i>	<i>p value</i>
DEP (L/s)	Mesure sans SEF	$2,1 \pm 0,39$	$2,5 \pm 0,77$	0,17
	Mesure avec SEF	$3,1 \pm 0,39$	$3,6 \pm 0,77$	0,02*
<i>Taille de l'effet de la SEF : 1 L/s (p < 0,01*)</i>		<i>IC à 95% : [0,71 ; 1,29]</i>		
<i>Taille de l'effet SEF/entraînement : 1,1 L/s</i>		<i>IC à 95% : [0,52 ; 1,68]</i>		
P_{oes} (cmH ₂ O)	Mesure sans SEF	$8,9 \pm 4,26$	$12,3 \pm 5,81$	0,16
	Mesure avec SEF	$35,4 \pm 10,46$	$48,1 \pm 11,23$	0,005*
<i>Taille de l'effet SEF : 26,5 cmH₂O (p < 0,01*)</i>		<i>IC à 95% : [20,53 ; 32,47]</i>		
<i>Taille de l'effet SEF/entraînement : 35,8 cmH₂O</i>		<i>IC à 95% : [29,11 ; 42,49]</i>		
P_{gas} (cmH ₂ O)	Mesure sans SEF	$1,9 \pm 2,32$	$3,9 \pm 5,42$	0,03*
	Mesure avec SEF	$37,1 \pm 7,75$	$46,5 \pm 11,23$	0,003*
<i>Taille de l'effet SEF : 35,2 cmH₂O (p < 0,01*)</i>		<i>IC à 95% : [30,92 ; 39,48]</i>		
<i>Taille de l'effet SEF/entraînement : 42,6 cmH₂O</i>		<i>IC à 95% : [36,00 ; 49,20]</i>		

Les résultats sont donnés sous la forme « moyenne \pm écart-type ».

* : $p < 0,05$, valeur statistiquement significative (analyse de variance)

Vert : critère principal / Bleu : critères secondaires.

Concernant la P_{oes} :

- Avant tout entraînement, la moyenne obtenue sans SEF de $8,9 \pm 4,26$ cmH₂O a augmenté jusqu'à $35,4 \pm 10,46$ cmH₂O avec la SEF.
- Pour les mesures avec SEF, une différence intra-groupe de 12,7 cmH₂O passant de $35,4 \pm 10,46$ cmH₂O avant entraînement à $48,1 \pm 11,23$ cmH₂O après entraînement, avec un $p < 0,05$ significatif.
- Les mesures sans SEF ont subi une augmentation de 3,4 cmH₂O passant de $8,9 \pm 1,1$ cmH₂O à $12,3 \pm 1,5$ cmH₂O après l'entraînement, avec $p > 0,05$ non significatif.

La taille de l'effet de la SEF seule est de 26,5 cmH₂O avec un IC à 95% de [20,53 ; 32,47].

La taille de l'effet de la SEF combinée à l'entraînement est de 35,8 cmH₂O avec un intervalle de [29,11 ; 42,49].

Les tailles d'effet sont grandes, mais la SEF couplée à un entraînement présente une taille d'effet plus importante. Les intervalles de confiance ne croisent pas zéro mais sont larges. De plus, le p des valeurs du groupe contrôle est non significatif.

Concernant la P_{gas} :

- Avant l'entraînement, la moyenne sans SEF de $1,9 \pm 2,32$ cmH₂O a augmenté jusqu'à $37,1 \pm 7,75$ cmH₂O avec stimulation.
- Les mesures avec SEF démontrent une augmentation de $37,1 \pm 2,0$ cmH₂O avant entraînement à $46,5 \pm 2,9$ cmH₂O après entraînement, avec un $p < 0,05$ significatif.
- Les mesures sans SEF ont aussi subi une augmentation passant de $1,9 \pm 0,6$ cmH₂O à $3,9 \pm 1,4$ cmH₂O après l'entraînement, avec $p < 0,05$ significatif.

La taille de l'effet de la SEF seule est de 35,2 cmH₂O avec un IC à 95% de [30,92 ; 39,48].

La taille de l'effet de la SEF combinée à l'entraînement est de 42,6 cmH₂O avec un intervalle de [36,00 ; 49,20].

Les tailles d'effet sont importantes, et comme pour la P_{oes} , la taille de l'effet de la SEF couplée à l'entraînement est beaucoup plus importante que celle de la SEF seule. De plus, toutes les valeurs sont significatives mais les intervalles de confiance à 95% sont larges.

3.3.2. Gonzales 2015 [49]

Dans cette étude, l'électrothérapie est appliquée pendant 10 minutes, puis est couplée au programme de rééducation orthophonique pendant 20 séances. Les valeurs de **CVF** et **CI** ont été mesurées grâce à un spiromètre informatisé (INSPIROMETRE PDD-301/s). Le groupe comparateur a uniquement suivi le programme de rééducation orthophonique.

Dans l'article, les valeurs étant données en mL, nous les avons convertis en L afin d'avoir la même unité de mesure dans tous les articles.

<i>Outcome</i>	<i>Groupe</i>	<i>Avant intervention</i>	<i>Après intervention</i>	<i>p value</i>
CVF (L)	C	1,638 ± 0,713	2,084 ± 0,794	0,00331*
	E	1,790 ± 0,656	2,593 ± 0,909	0,00298*
<i>Taille de l'effet : 0,509 L</i>		<i>IC à 95% : [- 0,18 ; 1,20]</i>		
CI (L)	C	1,107 ± 0,144	1,153 ± 0,112	0,15730
	E	1,740 ± 0,714	2,652 ± 0,855	0,00147
<i>Taille de l'effet : 1,499 L</i>		<i>IC à 95% : [1,01 ; 1,99]</i>		

Les résultats sont donnés sous la forme « moyenne ± écart-type ».

* : $p < 0,05$, valeur statistiquement significative (test de Wilcoxon)

Vert : critère principal / Bleu : critère secondaire.

Concernant la **CVF** :

- Le groupe contrôle € a une augmentation de ses valeurs moyennes, passant de $1,638 \pm 0,713$ L à $2,084 \pm 0,794$ L, avec un $p < 0,05$ significatif.
- Le groupe expérimental € présente une augmentation des valeurs de $1,790 \pm 0,656$ L à $2,593 \pm 0,909$ L avec également un p significatif.

La taille d'effet de 0,509 L et l'intervalle de confiance est [- 0,18 ; 1,20]. La taille d'effet est faible et l'IC à 95% passe en zéro ; il n'est donc pas possible de conclure sur la réelle efficacité de la stimulation électrique sur la CVF.

Pour la **CI** :

- Le groupe contrôle a augmenté sa moyenne de $1,107 \pm 0,144$ L à $1,153 \pm 0,112$.
- Les valeurs du groupe expérimental ont progressé de $1,740 \pm 0,714$ L à $2,652 \pm 0,855$ L.

La taille d'effet est de 1,499 L avec un intervalle [1,01 ; 1,99] étroit et qui ne croise pas zéro. Or les valeurs ne sont pas statistiquement significatives. De plus, les deux groupes n'avaient pas des valeurs totalement similaires au début de l'expérimentation.

3.3.3. Cheng 2006 [48]

Lors de cette étude, l'ensemble des 26 patients a terminé l'examen de suivi et les données de chacun ont été retenues pour l'analyse finale.

Les patients ont reçu l'intervention 30 minutes par jour, 5 jours par semaine, et cela pendant 4 semaines. En plus de l'application de la stimulation électrique neuromusculaire sur les abdominaux et la partie claviculaire du grand pectoral, les patients suivaient un programme de rééducation conventionnel (mobilisations passives, exercices d'équilibre assis, entraînement fonctionnel des membres supérieurs). Le comparateur est le programme de rééducation conventionnel.

Les tests ont été effectués par le même examinateur qui était en aveugle du traitement reçu. 3 essais en décubitus dorsal ont été autorisés, avec un repos entre chaque ; puis la meilleure valeur des 3 a été retenue. Les paramètres **DEP**, **CVF**, **VEMS**, et **CV** ont été mesurés grâce à un spiromètre (Chest Graph HI-701). La **PIM** et la **PEM** ont été mesurées par un tensiomètre buccal Micro Medical.

La survenue de complications pulmonaires a aussi été appréciée. Etaient considérées comme complications tout type de bronchopneumonie ou d'atélectasie.

Celles-ci étaient diagnostiquées par la présence de plaques pneumoniques, d'infiltrations croissantes ou d'atélectasies sur une radiographie du thorax. Cliniquement les patients présentaient une dyspnée, d'abondantes expectorations, de la fièvre, nécessitant la prise d'antibiotiques et de soins thoraciques intensifs (aspiration, expectoration, inhalation d'oxygène, bronchodilatateurs). [48] Le Risque Relatif a été calculé afin de juger si le traitement est bénéfique ou délétère par rapport à la survenue d'aggravations pulmonaire. Il est judicieux d'analyser ce risque car les complications respiratoires sont la cause majeure de mortalité dans la population des blessés médullaires.

<i>Outcome</i>	<i>Groupe</i>	<i>Avant intervention</i>	<i>Après intervention</i>	<i>p value</i>
DEP (L/s)	C	2,91 ± 0,8	2,90 ± 0,7	< 0,001*
	E	2,96 ± 0,8	3,93 ± 0,9	
<i>Taille de l'effet : 1,03 L/s</i>		<i>IC à 95% : [0,38 ; 1,68]</i>		
CVF (L)	C	1,79 ± 0,6	1,82 ± 0,6	0,003*
	E	1,71 ± 0,6	2,26 ± 0,7	
<i>Taille de l'effet : 0,44 L</i>		<i>IC à 95% : [- 0,09 ; 0,97]</i>		
VEMS (L)	C	1,74 ± 0,8	1,74 ± 0,8	0,011*
	E	1,78 ± 0,7	2,0 ± 0,7	
<i>Taille de l'effet : 0,26 L</i>		<i>IC à 95% : [- 0,35 ; 0,87]</i>		
CV (L)	C	1,79 ± 0,5	1,85 ± 0,5	0,004*
	E	1,74 ± 0,6	2,29 ± 0,7	
<i>Taille de l'effet : 0,44 L</i>		<i>IC à 95% : [-0,05 ; 0,93]</i>		
PIM (mmH ₂ O)	C	395 ± 79	410 ± 68	0,016*
	E	395 ± 102	492 ± 107	
<i>Taille de l'effet : 82 mmH₂O</i>		<i>IC à 95% : [9,43 ; 154,57]</i>		
PEM (mmH ₂ O)	C	315 ± 61	331 ± 61	< 0,001*
	E	308 ± 91	398 ± 93	
<i>Taille de l'effet : 67 mmH₂O</i>		<i>IC à 95% : [3,33 ; 130,67]</i>		

Les résultats sont donnés sous la forme « moyenne ± écart-type ».

* : p < 0,05, valeur statistiquement significative.

Vert : critères principaux / Bleu : critères secondaire.

Pour le **DEP** :

- Le groupe contrôle (C) a une augmentation de ses valeurs moyennes, passant de 2,91 ± 0,8 L/s à 42,2 ± 15,2 L/s.
- Le groupe expérimental (E) présente une augmentation de 36,3 ± 13,4 L/s à 48,7 ± 13,3 L/s.

Directement après l'intervention, la taille d'effet reste faible avec une valeur de 1,03 L/s. L'intervalle de confiance [0,38 ; 1,68] ne passe pas par zéro et est étroit.

Pour la **CVF** :

- Le groupe contrôle présente une évolution passant de 1,79 ± 0,6 L à 1,82 ± 0,6.
- Le groupe expérimental présente une augmentation de 1,71 ± 0,6 L à 2,26 ± 0,7 L.

La taille d'effet est faible avec une valeur de 0,44 L, et l'intervalle de confiance est étroit mais passe par zéro [- 0,09 ; 0,97].

Concernant le **VEMS** :

- Le groupe contrôle ne présente aucune évolution avec une valeur de $1,74 \pm 0,8$ L avant et après intervention.
- Le groupe expérimental présente une augmentation de $1,78 \pm 0,7$ L à $2,0 \pm 0,7$ L.

En post intervention la taille de l'effet sur le VEMS est de 0,26 L avec un intervalle de confiance de [- 0,35 ; 0,87]. La valeur est faible et l'intervalle de confiance croise zéro.

Pour la Pression Inspiratoire Maximale (**PIM**) :

- Le groupe contrôle montre une évolution de 395 ± 79 mmH₂O à 410 ± 68 mmH₂O.
- Le groupe expérimental affiche une progression de 395 ± 102 mmH₂O à 492 ± 107 mmH₂O.

La taille de l'effet de 82 mmH₂O est élevée mais l'intervalle de confiance [9,43 ; 154,57] est large.

Enfin pour la Pression Expiratoire Maximale (**PEM**) :

- Le groupe contrôle montre une évolution de 315 ± 61 mmH₂O à 331 ± 61 mmH₂O.
- Le groupe expérimental affiche une progression de 308 ± 91 mmH₂O à 398 ± 93 mmH₂O.

La taille de l'effet de 67 mmH₂O est élevée mais l'intervalle de confiance [3,33 ; 130,67] est large.

Pour toutes ces valeurs, les valeurs étaient significatives avec $p < 0,05$.

<i>Outcome</i>	<i>Groupe</i>	<i>Avant intervention</i>	<i>3 mois de suivi</i>	<i>p value</i>
DEP (L/s)	C	$2,91 \pm 0,8$	$3,11 \pm 0,8$	< 0,001*
	E	$2,96 \pm 0,8$	$4,18 \pm 0,9$	
<i>Taille de l'effet : 1,7 L/s</i>			<i>IC à 95% : [0,38 ; 1,76]</i>	
CVF (L)	C	$1,79 \pm 0,6$	$1,91 \pm 0,6$	0,003*
	E	$1,71 \pm 0,6$	$2,42 \pm 0,6$	
<i>Taille de l'effet : 0,51 L</i>			<i>IC à 95% : [0,02 ; 1,00]</i>	
VEMS (L)	C	$1,74 \pm 0,8$	$1,75 \pm 0,8$	0,011*
	E	$1,78 \pm 0,7$	$2,19 \pm 0,8$	
<i>Taille de l'effet : 0,44 L</i>			<i>IC à 95% : [- 0,21 ; 1,09]</i>	
CV (L)	C	$1,79 \pm 0,5$	$1,93 \pm 0,5$	0,004*
	E	$1,74 \pm 0,6$	$2,45 \pm 0,6$	
<i>Taille de l'effet : 0,52 L</i>			<i>IC à 95% : [0,07 ; 0,97]</i>	
PIM (mmH ₂ O)	C	395 ± 79	471 ± 78	0,016*
	E	395 ± 102	528 ± 117	
<i>Taille de l'effet : 57 mmH₂O</i>			<i>IC à 95% : [-23,49 ; 137,49]</i>	
PEM (mmH ₂ O)	C	315 ± 61	350 ± 66	< 0,001*
	E	308 ± 91	441 ± 88	
<i>Taille de l'effet : 91 mmH₂O</i>			<i>IC à 95% : [28,03 ; 153,97]</i>	

Les résultats sont donnés sous la forme « moyenne ± écart-type ».

* : $p < 0,05$, valeur statistiquement significative.

Vert : critères principaux / Bleu : critères secondaire.

A 3 mois post-intervention, la taille d'effet pour le **DEP** est de 1,7 L/s avec un IC à 95% qui ne croise pas zéro [0,38 ; 1,76].

Pour la **CVF**, la taille de l'effet est également faible : 0,51 L. L'intervalle à 95% est [0,02 ; 1,00] et ne croise pas zéro.

Pour le **VEMS**, la taille d'effet est relativement faible : 0,44 L. L'intervalle de confiance [- 0,21 ; 1,09] passe par zéro.

Pour la **CV**, la taille d'effet est de 0,52 L avec un IC à 95% étroit ne croisant pas zéro [0,07 ; 0,97].

Pour la **PIM**, la taille d'effet est élevée : 57 mmH₂O mais l'intervalle [-23,49 ; 137,49] croisé zéro.

Enfin concernant la **PEM**, la taille d'effet est également élevée avec une valeur de 91mmH₂O mais un IC à 95% large [28,03 ; 153,97].

Pour tous les paramètres, les valeurs sont significatives avec un $p < 0,05$.

<i>Outcome</i>	<i>Groupe</i>	<i>Avant intervention</i>	<i>6 mois de suivi</i>	<i>p value</i>
DEP (L/s)	C	2,91 ± 0,8	3,17 ± 0,8	< 0,001*
	E	2,96 ± 0,8	4,24 ± 0,8	
<i>Taille de l'effet : 1,07 L/s</i>			<i>IC à 95% : [0,42 ; 1,72]</i>	
CVF (L)	C	1,79 ± 0,6	1,99 ± 0,5	0,003*
	E	1,71 ± 0,6	2,51 ± 0,5	
<i>Taille de l'effet : 0,52 L</i>			<i>IC à 95% : [0,12 ; 0,92]</i>	
VEMS (L)	C	1,74 ± 0,8	1,77 ± 0,9	0,011*
	E	1,78 ± 0,7	2,30 ± 10,1	
<i>Taille de l'effet : 0,53 L</i>			<i>IC à 95% : [- 5,27 ; 6,33]</i>	
CV (L)	C	1,79 ± 0,5	2,08 ± 0,5	0,004*
	E	1,74 ± 0,6	2,49 ± 0,6	
<i>Taille de l'effet : 0,41 L</i>			<i>IC à 95% : [-0,04 ; 0,86]</i>	
PIM (mmH ₂ O)	C	395 ± 79	483 ± 103	0,016*
	E	395 ± 102	548 ± 117	
<i>Taille de l'effet : 65 mmH₂O</i>			<i>IC à 95% : [-24,23 ; 154,23]</i>	
PEM (mmH ₂ O)	C	315 ± 61	388 ± 75	< 0,001*
	E	308 ± 91	466 ± 76	
<i>Taille de l'effet : 78 mmH₂O</i>			<i>IC à 95% : [16,88 ; 139,12]</i>	

Les résultats sont donnés sous la forme « moyenne ± écart-type ».

* : $p < 0,05$, valeur statistiquement significative.

Vert : critères principaux / Bleu : critères secondaire.

En 6 mois post intervention, la taille d'effet du **DEP** est d'1,07 L avec un intervalle ne passant pas par zéro : [0,42 ; 1,72].

La taille de l'effet sur la **CVF** est encore une fois faible : 0,52 L. L'intervalle de confiance ne croise pas zéro et est [0,12 ; 0,92].

La taille d'effet sur le **VEMS** est de 0,53 L. Elle est faible et l'intervalle de confiance est large et croise zéro [- 5,27 ; 6,33].

Pour la **CV**, la taille d'effet est aussi faible : 0,41 L. De plus l'intervalle de confiance est étroit [-0,04 ; 0,86] mais croise zéro.

Concernant la **PIM**, l'intervalle de confiance est large et croise zéro [-24,23 ; 154,23] malgré que la taille d'effet de 65 mmH₂O soit élevée.

Pour finir, la taille d'effet de la **PEM** est élevée : 78 mmH₂O, mais encore une fois l'IC à 95% est large [16,88 ; 139,12].

Toutes les valeurs présentées dans ce tableau sont significatives avec un $p < 0,05$.

De plus, la **survenue de complications pulmonaires** a été évaluée après 6 mois de suivis avec un p significatif $< 0,05$:

- Dans le groupe expérimental, l'incidence des complications a diminué après 6 mois. Un patient sur 13 (7,7%) a présenté des complications.
- Dans le groupe témoin, six patients sur 13 (46,1%) ont présenté des complications. Sur ces 6 patients, 1 a subi une trachéotomie et a été sous ventilation assistée.

Le Risque Relatif (RR) est le rapport du risque de survenue de l'événement dans le groupe expérimental, par rapport au risque de survenue du groupe contrôle. Dans cet article le RR de survenue de complications pulmonaires est 0,1667 avec un intervalle de confiance à 95% étroit de [0,0232 ; 1,1981] et ne croisant pas zéro. Le RR inférieur à 1 témoigne d'un effet bénéfique de la SEF sur la survenue de complications.

Enfin, la Réduction Relative du Risque (RRR) a été calculée ; le résultat obtenu est 0,8333 avec un IC 95 [- 0,1981 ; 0,9768]. Cette valeur signifie que le traitement entraîne une réduction relative de la fréquence de l'événement de 83,33%. Or l'intervalle de confiance croise zéro ce qui signifie que les effets nul et délétère sont possibles.

3.3.4. Hacakova-Bartova 2008 [50]

Dans cette étude pilote, les 7 patients sélectionnés au début ont tous fini dans le groupe expérimental en fin d'étude. En effet, 3 groupes ont été étudiés, dont un groupe combiné ayant eu une période avec stimulation placebo, puis une période avec stimulation électrique des abdominaux.

Les valeurs lors de la première phase « contrôle » sont comptabilisées dans le groupe contrôle, et les valeurs lors de la seconde phase « expérimentale » sont compris dans le groupe expérimental strict. La Capacité Vitale Forcée (CVF) a été mesurée par spirométrie (Schiller AT-60).

Les mesures ont été réalisées 1 semaine avant et 1 semaine après stimulation. L'intervention était appliquée 25 minutes par jour.

<i>Outcome</i>	<i>Groupe</i>	<i>Avant intervention</i>	<i>Après intervention</i>	<i>p value</i>
CVF (L)	C	3,22 ± 1,31	3,18 ± 1,33	1,000
	E	3,65 ± 1,25	3,32 ± 1,05	0,016*
<i>Taille de l'effet : - 0,14</i>		<i>IC à 95% : [- 1,59 ; 1,31]</i>		

Les résultats sont donnés sous la forme « moyenne ± écart-type ».

* : $p < 0,05$, valeur statistiquement significative.

Vert : critère de jugement principal.

Pour la **CVF**, la taille d'effet est négative avec une valeur de $- 0,14$ L. L'intervalle de confiance $[- 1,31 ; 1,59]$ croise le zéro. Les valeurs sont significatives pour le groupe expérimental ($p < 0,05$) mais pas pour le groupe témoin où la valeur du p est bien supérieure à $0,05$.

Cependant, en observant les valeurs on remarque que le groupe expérimental a subi une baisse plus importante de la CVF (0,33) que le groupe témoin qui n'a subi qu'un traitement placebo (0,04).

La présence des critères de jugement dans chaque étude est résumée dans le tableau suivant, avec :

- Critères de jugement principaux : DEP CVF, évalués dans au moins 2 articles afin de pouvoir les comparer
- Critères de jugement secondaires : VEMS, CV, CI, PIM/PEM, $P_{\text{gas}}/P_{\text{oes}}$.

<i>Etudes</i>	DEP	CVF	VEMS	CV	CI	PIM/PEM	$P_{\text{gas}} / P_{\text{oes}}$
McBain 2013 [47]	X						X
Cheng 2006 [48]	X	X	X	X		X	
Gonzales 2015 [49]		X			X		
Hacakova-Bartova 2008 [50]		X					

Tableau 11 : synthèse des critères de jugements de chaque étude.

X : paramètre évalué dans l'étude

Vert : critères principaux / Bleu : critères secondaires.

4. Discussion

4.1. Analyse des principaux résultats

Afin de répondre à la question thérapeutique de cette revue, une analyse des résultats présentés précédemment est réalisée avec une interprétation de ceux-ci. L'explication de ces résultats sera ensuite confrontée aux biais présents dans les études et dans notre revue.

Nous commencerons par exploiter les résultats des critères de jugement principaux que sont l'efficacité de la toux (DEP) et la fonction respiratoire (CVF) Enfin des critères de jugement secondaires abordés dans certaines études seront analysés (CV, VEMS, CI, PIM/PEM et $P_{\text{gas}}/P_{\text{oes}}$).

4.1.1. Critères de jugement principaux

4.1.1.1. Efficacité de la toux : DEP

Le DEP a été mesuré dans deux études : McBain2013 [47] et Cheng2006 [48].

Pour rappel, les valeurs seuil sont :

- DEP normal de 600 à 700 L/min soit **10 à 11,7 L/s**
- Toux inefficace si DEP < 160-180 L/min soit **< 2,7-3 L/s**
- Toux efficace avec assistance si 160-180 L/min < DEP < 270 L/min soit **3 L/s < DEP < 4,5 L/s**
- Toux efficace sans assistance si DEP > 270 L/min soit **> 4,5 L/s**

Dans la littérature, les valeurs sont données en L/min tandis que dans les articles le DEP est exprimé en L/s. Pour faciliter l'analyse et la comparaison des résultats, les valeurs seuils sont converties en L/s.

Dans les 2 articles, il est précisé que les patients sélectionnés au début de l'étude ne présentaient pas de différence notable et souffraient tous d'une toux inefficace.

DEP	McBain2013 [47]				Cheng2006 [48]					
	Avant entraînement*		Après entraînement		Post immédiat*		3 mois*		6 mois*	
	C	Exp	C	Exp	C	Exp	C	Exp	C	Exp
DEP < 2,7 – 3 L/s	O		O		O					
3 L/s < DEP < 4,5 L/s		O		O		O	O	O	O	O

Tableau 12 : Classification de l'efficacité de la toux après intervention dans 2 des études de la revue.

* : valeurs obtenues significatives avec $p < 0,05$

L'étude **McBain2013** [47] qui est un essai croisé, trois séries de mesures ont été effectuées :

- Mesures au début de l'étude des fonctions pulmonaires de bases de chaque patient : aucune différence significative n'a été mise en évidence entre chacun d'eux.
- Mesure avant l'entraînement : avec la SEF pour les patients dans la période expérimentale, et sans la SEF pour les patients dans la période contrôle.
- Mesure après la période d'entraînement de 6 semaines pour les 2 groupes.

Les tailles d'effet de l'application seule de la SEF avant entraînement (1 L/s) et de la SEF couplée à un entraînement de 6 semaines (1,1 L/s) ne diffèrent que de 0,1 L/s. Mais cette dernière n'est pas exploitable car les valeurs post-entraînement du groupe contrôle ne sont pas significatives.

Néanmoins, il est observable qu'immédiatement après l'intervention de la SEF dans les deux études, les groupes expérimentaux sont passés d'une toux inefficace à une toux efficace avec assistance, tandis que les groupes contrôles n'ont pas subi de progression assez importante pour développer une toux efficace assistée. Le calcul des tailles d'effets démontre une augmentation significative du DEP grâce à la SEF et par conséquent une amélioration de l'efficacité de la toux.

De plus, les intervalles de confiance à 95% sont étroits pour chaque taille d'effet et ne croisent pas zéro, ce qui permet de conclure de l'efficacité de la SEF dans l'amélioration du DEP et donc de la toux chez les patients blessés médullaires.

L'étude **Cheng 2006** [48] présente les mesures du DEP à 3 mois et 6 mois de suivi pour les groupes expérimental et contrôle. Nous pouvons remarquer qu'à partir de 3 mois, le groupe contrôle présentait des valeurs de DEP suffisante pour avoir une toux efficace avec assistance. Les valeurs du groupe expérimental n'ont cessé d'augmenter pendant 6 mois pour se rapprocher de la valeur seuil de toux efficace sans l'atteindre (4,24 L/s).

Les valeurs ont significativement augmenté pour les deux groupes pendant 6 mois, mais avec une taille d'effet en faveur du groupe expérimental ayant reçu la stimulation électrique. Les intervalles de confiance sont étroits et ne croisent pas zéro, ce qui permet de conclure encore une fois sur l'efficacité de la SEF dans l'amélioration de la toux et encore plus sur le long-terme.

Malgré les différences de modalités d'application et d'entraînement, les tailles d'effet obtenues sont assez similaires pour les deux études : 1 L/s pour une application seule de la SEF pour McBain2013, et 1,03 L/s pour Cheng2006 en post-intervention immédiat.

Pour conclure sur le DEP, la SEF semble avoir un impact positif sur celui-ci et semble par conséquent améliorer l'efficacité de la toux jusqu'à tendre vers une toux efficace sans assistance sur le long-terme.

4.1.1.2. Fonction respiratoire : CVF

La fonction respiratoire des blessés médullaires est jugée par 4 critères présents dans les études.

La Capacité Vitale Forcée (**CVF**) a été évaluée par 3 études qui sont Cheng2006, Hascakova-Bartova2008 et Gonzales2015. Les patients sélectionnés au début des études ne présentaient aucune différence et présentaient tous une diminution de la capacité pulmonaire.

Les études **Cheng2006** et **Gonzales2015** présentaient toutes les deux des valeurs significatives : les tailles d'effet mesurées sont faibles et malgré que les intervalles de confiance soient étroits, leur passage par zéro ne permet pas de conclure sur une amélioration possible de la CVF par la stimulation électrique.

Néanmoins, dans l'étude de Cheng2006 mesurant la CVF après un suivi de 3 et 6 mois, les tailles d'effet augmentent faiblement mais les intervalles de confiance à 95% ne croisent plus zéro et restent toujours aussi étroits. Sur le long-terme, il est donc possible de conclure sur l'efficacité de la SEF dans l'augmentation de la CVF qui reflète en partie l'intégrité de la fonction pulmonaire.

L'étude **Hascakova-Bartova2008** montrait une diminution de la CVF dans les groupes témoin et expérimentaux. Les valeurs du groupe contrôle n'étant pas significatives, la taille d'effet et l'intervalle de confiance n'ont pas été utilisés dans la comparaison avec les autres articles.

Cependant, cette étude étant la seule étude n'ayant pas couplé la SEF à un entraînement, cette diminution de la CVF pourrait en être le reflet. Nous n'en concluons pas que la SEF doit systématiquement être associée à un entraînement pour avoir un effet positif, car une seule étude n'est pas suffisante, en particulier lorsqu'elle comporte beaucoup de biais et une taille d'échantillon très faible.

Au final, pour les critères de jugements principaux il est possible de conclure sur :

- Une amélioration significative du DEP et donc de l'efficacité de la toux grâce à une application de la SEF sur la paroi abdominale.
- L'efficacité de la SEF dans l'augmentation de la CVF sur le long-terme.

Tandis qu'il n'a pas été possible de conclure sur :

- L'efficacité de la SEF couplée à un entraînement à la toux car les valeurs obtenues du DEP n'étaient pas significatives.
- L'amélioration de la CVF en post-interventionnel.

4.1.2. Critères de jugement secondaires

Les critères de jugement secondaires ne permettent pas de conclure sur l'effet d'une intervention car dans le cas de cette revue ils ne sont présents que dans une étude à chaque, ce qui ne permet pas de comparer plusieurs résultats. Cependant, ils ajoutent une plus-value aux critères principaux.

4.1.2.1. Volumes respiratoires : CV, VEMS et CI

La Capacité Vitale (**CV**) et le Volume Expiratoire Maximal en 1 Seconde (**VEMS**) sont tous les 2 mesurés dans l'étude **Cheng2006**. Pour les deux paramètres, toutes les valeurs intragroupe sont significatives mais les tailles d'effet sont faibles même au bout de 6 mois de suivi. On remarque que pour le VEMS elles augmentent légèrement jusqu'au 6^{ème} mois de suivi, tandis que pour la CV la taille d'effet augmente jusqu'au 3^{ème} mois puis diminue. Concernant les intervalles de confiance, seul celui de la taille d'effet sur la CV à 3 mois de suivi ne croise pas zéro et est étroit.

On ne peut donc conclure que sur l'effet positif de la SEF sur l'amélioration de la CV 3 mois après l'intervention.

La Capacité Inspiratoire (**CI**) a été mesurée dans l'étude de **Gonzales2015**. La taille d'effet mesurée est positive avec une valeur de 1,499L et un intervalle de confiance à 95% étroit [1,0 ;1,99] sans croiser zéro. Or les valeurs ne sont pas significatives donc par conséquent non exploitables.

4.1.2.2. Pressions mesurées : PIM, PEM, P_{gas} et P_{oes}

L'ensemble des pressions mesurées est le reflet de l'efficacité et la force des muscles expiratoires. Leur analyse permet d'appuyer les résultats obtenus concernant le DEP.

La **PIM** et la **PEM** ont été mesurées dans l'étude **Cheng2006** par un tensiomètre buccal Micro Medical, en post-intervention immédiat puis à 3 mois et 6 mois de suivi.

Pour la **PIM**, toutes les valeurs obtenues sont significatives pour les 3 dates de mesures et les tailles d'effet sont importantes. Il est aussi observable que la taille d'effet a diminué en 3 mois pour ensuite augmenter à 6 mois. Cependant les intervalles de confiance sont trop larges et les intervalles à 3 et 6 mois de suivi croisent zéro, ce qui ne permet pas de vraiment conclure sur le long-terme.

Toutefois, l'effet de la SEF sur la PIM semble être positif mais ceci est à pondérer avec la grande marge d'erreur que montre l'intervalle de confiance.

La SEF semble aussi avoir un effet positif sur la **PEM** au vu des tailles d'effet obtenues ; cette fois-ci l'effet a augmenté en 3 mois puis diminuer au bout de 6 mois. A nouveau toutes les valeurs sont significatives et cette fois les intervalles ne croisent pas zéro. Il est donc possible de déterminer un effet positif de la SEF sur la PEM, toujours à pondérer avec les intervalles de confiance larges et non précis reflétant une marge d'erreur importante.

La **P_{gas}** et la **P_{oes}** sont mesurées dans l'étude **McBain2013**. Elles sont mesurées grâce à deux transducteurs montés sur un cathéter gastroœsophagien inséré par le nez des patients.

Concernant la **P_{gas}**, les tailles d'effet sont importantes mais celle de la SEF couplée à l'entraînement de toux stimulée est plus importante que celle de l'application de la SEF seule. Les IC à 95% ne croisent pas zéro mais sont peu précis dans les deux cas. Ainsi, grâce à ces valeurs significatives, il est possible de juger la SEF comme efficace dans l'amélioration de la Pression Gastrique chez les blessés médullaires, qu'elle soit associée ou non à un entraînement à la toux en simultané. A nouveau, cette conclusion doit être nuancée avec l'imprécision des intervalles de confiance.

Pour la **P_{oes}**, les tailles d'effet sont également importantes, mais celle de la SEF couplée à l'entraînement n'est pas significative car les valeurs post-entraînement de la période contrôle ont été jugées avec un $p > 0,05$ non significatif. Cette mesure ne pourra pas être prise en compte dans la conclusion. Néanmoins, l'application seule de la stimulation montre un effet positif important, malgré un intervalle de confiance qui ne croise pas zéro et peu précis.

Enfin, **l'apparition de complications pulmonaires** au bout de 6 mois a été prise en compte dans l'étude Cheng2006. Les valeurs significatives semblent être en faveur d'un effet positif de la SEF : le groupe expérimental ne compte que 7,7% de complications, tandis que le groupe contrôle en compte presque la moitié (46,1%) avec un patient trachéotomisé et mis sous ventilation assistée. Le RR étant inférieur à 1, la SEF semble réduire la survenue de cet événement. Le RRR se place en faveur d'une réduction de 83,33% des survenues d'aggravations grâce à la SEF ; l'intervalle de confiance offrant la possibilité d'un effet nul ou péjoratif, cette valeur est à pondérer.

L'analyse des résultats des critères secondaires permet de conclure sur :

- L'effet positif de la SEF sur l'amélioration de la CV 3 mois après l'intervention de la SEF.
- Une PIM et une PEM augmentées grâce à la SEF, en post-interventionnel pour la PIM et jusqu'à 3 mois post-interventionnel pour la PEM.
- Une augmentation de la valeur de la **P_{gas}** grâce à la SEF, que ce soit avec simple application de la stimulation mais aussi avec des toux stimulées réalisées simultanément.
- Une amélioration de la **P_{oes}** grâce à l'application seule de la stimulation électrique.

Cependant il n'a pas été possible de conclure sur :

- L'efficacité de la SEF couplée à un entraînement à la toux car les valeurs obtenues du DEP n'étaient pas significatives.
- L'effet de la stimulation sur le VEMS et la CI.
- L'amélioration de la CV en post-interventionnel et sur le long-terme à 6 mois de suivi.
- L'effet de la SEF sur la PIM sur le moyen et long-terme à 3 et 6 mois post-interventionnel.
- Une amélioration de la P_{oes} grâce à la SEF couplée à un entraînement simultané à la toux.

4.2. Applicabilité des résultats en pratique clinique

L'applicabilité des résultats en pratique doit se baser sur l'interprétation des résultats mais également sur les limites des études et les facteurs extérieurs tels que le coût de l'intervention, les effets secondaires observés, les contraintes rencontrées par les thérapeutes ou les patients.

- Population

Les résultats sont à pondérer avec l'importante hétérogénéité des populations sélectionnées dans chaque étude.

Les 4 articles sélectionnés pour cette revue présentent tous l'inclusion de patients blessés médullaires présentant une paralysie abdominale et ayant **entre 18 et 71 ans**. Au début de chaque étude il est précisé que les groupes témoin et expérimental sont similaires entre eux concernant les fonctions pulmonaires de bases. Cette tranche d'âge très large peut sembler avantageuse car elle offre la possibilité d'appliquer l'intervention à un grand nombre de blessés médullaires, et pas seulement à des patients jeunes ou âgés.

Cependant les études présentes dans cette revue ne permettent pas de déterminer si l'effet est réellement identique entre un sujet jeune et un sujet plus âgé. Il est avéré qu'en vieillissant notre capacité respiratoire évolue vers un syndrome restrictif ce qui engendre une diminution des volumes, pressions et débit respiratoires. Ainsi les résultats obtenus peuvent être biaisés par ces différences d'âge entre les patients, et rendre difficile l'applicabilité en pratique clinique.

Concernant les **niveaux lésionnels** et les **scores ASIA**, ils diffèrent énormément entre les patients et entre les études, allant de C4 à T5 majoritairement (un seul patient présente une atteinte allant jusqu'à T10) et de A à C. De nouveau il est précisé que le niveau lésionnel n'influence pas les mesures des fonctions pulmonaires de base. Or selon le niveau d'atteinte, les muscles touchés diffèrent (cf. *Tableau 4 : Complications respiratoires fonction du niveau lésionnel*) ce qui peut impacter la mesure des capacités pulmonaires. De même pour les scores ASIA ; des patients ASIA A avec une atteinte complète ont été comparés à des patients ASIA B incomplets sensitifs et ASIA C incomplets moteurs (motricité non-fonctionnelle).

Encore une fois, il nous est impossible de déterminer si l'effet de la SEF est le même sur des patients ASIA A que sur des patients ASIA C. Ces différences intra-population concernant l'atteinte lésionnelle sont susceptibles de biaiser les résultats et de compliquer la mise en pratique.

De plus, le **temps écoulé depuis la lésion médullaire** varie de quelques mois à plusieurs années selon les études. Ceci peut considérer un biais ; il est difficile d'affirmer si la SEF est plus efficace en phase aigüe (quelques mois), à distance de la lésion (plusieurs années), ou si ce critère n'a aucun impact sur les résultats. Par conséquent, il semble judicieux de pondérer notre analyse avec ce risque ; l'applicabilité à la population générale de lésés médullaires est difficilement envisageable.

Dans les 4 études, les populations regroupent des patients paraplégiques et tétraplégiques en bonne santé, présentant une toux inefficace et une diminution de la capacité pulmonaire due à la paralysie abdominale. Une liste non exhaustive des **contre-indications à la SEF** a été dressée dans la partie « 1.6. La stimulation électrique fonctionnelle » de l'Introduction. Les lésions médullaires telles que la paraplégie et la tétraplégie engendrent un grand nombre de complications autres que respiratoires. Ces patients sont donc plus susceptibles de présenter une de ces contre-indications et de ne pas pouvoir bénéficier de la stimulation électrique.

Néanmoins, sur les populations présentes dans les études, **aucun effet secondaire** n'a été enregistré exceptés deux cas de spasticité augmentée transitoirement 2 semaines après l'intervention, et disparue en 2 semaines également.

La **prédominance masculine** dans les 4 études réunies (81,8 %) est justifiée par le fait que $\frac{3}{4}$ des patients blessés médullaires sont des hommes. Cette proportion rend les populations représentatives de la population générale des lésés médullaires.

Pour autant, dans chaque étude les échantillons expérimentaux sont de trop faible puissance (7 à 15 patients) et ne sont **pas représentatifs** de la population générale ciblée. Ceci ne nous permet pas de généraliser les effets observés à la population globale des blessés médullaires.

- Intervention

L'intérêt de cette revue est d'évaluer les effets de la SEF sur les fonctions respiratoires et la toux des blessés médullaires. L'avantage de cette technique est qu'elle est **adaptable** à chaque patient, et c'est notamment ce qui est retrouvé dans les protocoles de chaque étude : avant de commencer les séances, les intensités de courant ont été adaptées à chaque patient. Un thérapeute les réglait manuellement afin d'obtenir les contractions musculaires les plus efficaces possibles. De plus, tous les paramètres de l'électrostimulation sont réglables : les durées d'impulsion, les fréquences, et les durées de train d'impulsion. L'action de la stimulation est optimisée par le réglage de ces éléments.

A propos des modalités d'application, le **nombre d'électrodes** utilisées est différent dans chaque étude allant de 2 électrodes (McBain2013) à 8 électrodes (Hascakova-Bartova2008). Pour la plupart, elles sont positionnées uniquement sur les trajets des muscles de la paroi abdominale (droit de l'abdomen, obliques externes), sauf Cheng2006 qui en a aussi appliqué au niveau de la portion claviculaire du grand pectoral.

Le nombre d'électrodes n'étant jamais le même entre chaque protocole d'étude, et leur **positionnement** ne se résumant pas à un placement bien défini, les comparaisons de résultats inter-études sont à pondérer avec ce risque de biais.

De surcroît, les appareils de stimulation, le type de courant, la durée et la fréquence d'onde ne sont pas tout le temps identiques (cf. *Tableau 6 : Modalités d'application de la stimulation électrique dans les différentes études*).

Les **appareils** utilisés sont tous des appareils de stimulation électrique, mais de marques différentes : Sonopuls 992+ pour Gonzales2015, Cefar Rehab 4 Pro pour Hascakova-Bartova2008 et Respond Select Neuromuscular Stimulator pour Cheng2006. L'étude McBain2013 n'a pas précisé la marque utilisée. Nous pouvons en déduire que chaque appareil a ses spécificités et que certaines variabilités sont notables entre chacun d'eux. Ceci apporte une première divergence entre les 4 protocoles.

En termes de type de **courant**, les études McBain2013, Cheng2006 et Hascakova-Bartova2008 utilisent un courant à basse fréquence permettant un recrutement optimal des fibres musculaires. L'article Gonzales2015 utilise un courant interférentiel de moyenne fréquence pour obtenir un courant à basse fréquence en profondeur (principe expliqué dans la partie « 1.6.2. *Principes d'application et mécanismes* »). Le recrutement est aussi optimal, mais l'application de la basse fréquence n'est pas directe. Les protocoles continuent de diverger.

L'**onde** appliquée est biphasique dans les études Cheng2006 et Hascakova-Bartova2008, caractère non précisé par McBain2013. Elle est carrée pour Hascakova-Bartova2008, et rectangulaire pour McBain2013, type d'onde non précisé dans l'étude Cheng2006. Ses durées d'impulsion varient de 200 à 300µs, les fréquences d'impulsion de 25 à 50Hz et les durée de trains d'impulsion de 3 à 6 secondes.

Concernant la **durée de l'intervention**, elle varie de 4 à 8 semaines d'expérimentation selon les études, de même que les durées d'application qui fluctuent de 10 à 30 minutes d'application par jour. Toutefois le nombre de jours « d'entraînement » par semaine est similaire pour chaque protocole (5 jours par semaine).

Seule l'étude Hascakova-Bartova2008 n'a pas **couplé** la SEF à un programme de rééducation. Les 3 autres études l'ont associée à un entraînement à la toux (McBain2013), à une séance de rééducation orthophonique (Gonzales2015) et à un programme de rééducation conventionnel (Cheng2006).

Ainsi, aucun protocole unique de rééducation stimulée n'a été décrit ce qui rend l'applicabilité en pratique clinique quasiment impossible.

Concernant le **financement** d'un tel dispositif, un appareil de SEF ou de SENM peut générer un coût assez important pour les professionnels du public et du privé. Cela peut représenter un frein à son achat et son utilisation.

En découle un autre problème : la faible **accessibilité** à cette méthode. Afin d'obtenir une amélioration pérenne de l'efficacité de la toux et de réduire considérablement les complications pulmonaires, il serait nécessaire pour les patients d'avoir un accès très fréquent à cette méthode afin d'en faire un usage quasi quotidien. Or, comme vu précédemment, le coût et l'accessibilité à ce dispositif sont un frein. De plus, cette technique nécessite l'intervention d'un thérapeute formé (kinésithérapeute ou autre) réduisant le niveau d'autonomie du patient.

- Comparateur

Afin de conclure à l'efficacité d'une intervention, l'utilisation d'un comparateur est primordial. Dans cette revue, il est notable que l'hétérogénéité des études est due à la différence de comparateur dans chacune d'elles. 3 études ont comparé la SEF à un programme de rééducation autre :

- Le groupe témoin de McBain2013 a réalisé un programme d'entraînement à la toux volontaire
- Le groupe témoin de Gonzales2015 a suivi un programme d'exercice d'orthophonie
- Le groupe témoin de Cheng2006 a réalisé un programme de rééducation conventionnel

L'étude Hascakova-Bartova2008 a comparé son intervention à une « stimulation placebo » ne permettant pas le recrutement des fibres musculaires.

Chaque programme est détaillé dans les études, néanmoins les séances sont individuelles et adaptées aux caractéristiques de chaque patient. Cela rend difficile la comparaison des études entre elles.

- Outcome (critère de jugement)

Dans cette revue, les critères de jugements étaient l'efficacité de la toux avec la mesure du DEP et la fonction respiratoire avec les mesures de la CVF principalement. Ces critères principaux ont été mesurés grâce à la spirométrie qui se réalise en laboratoire d'Exploration Fonctionnelle Respiratoire.

Dans un premier temps, les **appareils** de mesure utilisés étaient tous différents. Nous ne connaissons pas les modes de fonctionnement de chacun et ne pouvons pas en déduire si les mesures ont toutes été effectuées selon le même mode.

D'autre part, les **modalités de mesures** ne sont pas identiques pour chaque étude, ou ne sont pas indiquées.

Gonzales2015 et McBain2013 précisent réaliser leurs mesures sur les patients en position assise, tandis que dans l'étude Cheng2006 les patients sont allongés en décubitus dorsal. Les valeurs sont à chaque fois obtenues juste avant l'intervention puis directement après.

Seul Hacakova-Bartova2008 diffère sur ces 2 critères : il ne précise pas la position des patients et réalise les mesures 1 semaine avant puis 1 semaine après les cycles de stimulation. Cela constitue à nouveau une limite à l'interprétation et la comparaison des résultats de chaque étude.

Cheng2006 et Hacakova-Bartova2008 précisent que pour chaque critère de jugement, 3 mesures sont réalisées et la meilleure est retenue pour le résultat final. Les 2 autres études n'ont pas fait de précision sur cette modalité de mesure.

Pour rappel il est important que, lorsqu'un objectif de rééducation est fixé pour un patient, celui-ci remplisse la condition d'être « mesurable ». Or la spirométrie n'est pas un examen réalisable fréquemment et **accessible** dans n'importe quelle structure, du fait qu'elle doit être réalisée en laboratoire spécialisé. Une alternative peut être utilisée pour évaluer la toux : le débitmètre de pointe. Cependant pour les autres paramètres respiratoires, la spirométrie reste l'examen de référence.

Les tailles d'effet calculées dans la partie « 3. Résultats » sont à pondérer avec ces facteurs. Pour chaque critère de jugement principal, la plupart des valeurs obtenues sont assez faibles (moins de 2 L ou L/s) et minimales par rapport aux problématiques liées à la SEF. Concernant les critères de jugement secondaires, leurs importantes tailles d'effet ne permettent pas de justifier l'utilisation de la SEF, car ils ne sont mesurés que dans une étude et ne sont pas comparés à d'autres protocoles expérimentaux.

Concernant les **critères de jugements secondaires**, leur analyse a permis de mettre en avant un effet positif de la SEF sur la CV, PIM, PEM, P_{gas} et P_{oes} . Ces résultats en faveur de la SEF nous permettent d'appuyer les conclusions établies sur les critères de jugement principaux. Or, ces résultats ne peuvent pas être inclus dans la conclusion car les critères ne sont mesurés que dans une étude à chaque fois, et donc non comparables. Une étude n'est pas suffisante à juger de la réelle efficacité d'une technique sur un critère.

La possible baisse de survenue de **complications respiratoires** grâce à la SEF a été étudiée par Cheng2006 sur le long-terme (6 mois). Les résultats sont encourageants car il semblerait que la stimulation électrique de la paroi abdominale réduirait l'apparition d'aggravations pulmonaires. Or, une seule étude a été ceci, sur un échantillon de 26 personnes ce qui est trop faible.

Toutes ces divergences mises en évidence constituent les limites des résultats. Elles ne permettent pas de répondre clairement à la question clinique posée tout au long de cette revue. Malgré l'établissement de critères d'inclusion et d'exclusion pour sélectionner les études, les résultats obtenus sont à pondérer avec les différences entre articles.

4.3. Qualité des preuves

La moyenne des scores PEDro est de 4/10 avec un score minimum de 2/10 et un maximum de 5/10. Cela signifie que les études présentent des biais pouvant compromettre les résultats finaux des études et par conséquent les résultats de cette revue.

La méthode **GRADE** permet d'évaluer la qualité de preuve des résultats obtenus pour chaque critère de jugement, en attribuant un grade qui peut être « élevé », « modéré », « faible » ou « très faible ».

Niveau de qualité	Définition*
Élevé	Nous avons une confiance élevée dans l'estimation de l'effet : celle-ci doit être très proche du véritable effet.
Modéré	Nous avons une confiance modérée dans l'estimation de l'effet : celle-ci est probablement proche du véritable effet, mais il est possible qu'elle soit nettement différente.
Faible	Nous avons une confiance limitée dans l'estimation de l'effet : celle-ci peut être nettement différente du véritable effet.
Très faible	Nous avons très peu confiance dans l'estimation de l'effet : il est probable que celle-ci soit nettement différente du véritable effet.

Tableau 13 : Tableau des niveaux de qualité selon le système GRADE [53]

Les essais randomisés sont considérés comme étant de haute qualité tandis que les études observationnelles sont de faible qualité. Sont pris en compte 5 facteurs de biais :

- Existence de biais (biais de sélection, d'attrition, de mesures, absence de « en aveugle »)
- Hétérogénéité des résultats (grande variabilité des résultats, liée à des différences entre les études)
- Mesure indirecte (comparaisons indirectes)
- Imprécision (études avec peu de patients, peu d'événements, IC larges)
- Biais de publication (non-déclaration d'étude, problèmes de financement)

Facteurs	Description du facteur	Niveau de qualité de départ (nombre de niveaux en moins ou en plus)
Type d'études	essais contrôlés randomisés	élevé
	études observationnelles*	faible
Facteurs qui peuvent diminuer le niveau de qualité des données scientifiques provenant d'études observationnelles et d'essais contrôlés randomisés	risque de biais	
	sérieux	(-1)
	très sérieux	(-2)
	hétérogénéité des résultats	
	importante	(-1)
	très importante	(-2)
	caractère direct des données	
	incertitude	(-1)
	incertitude majeure	(-2)
	imprécision	
	sérieuse	(-1)
	très sérieuse	(-2)
	biais de publication	
	probable	(-1)
très probable	(-2)	

Tableau 14 : Tableau de synthèse des critères évalués par le système GRADE [53]

Chaque critère est jugé comme sérieux (- 1) ou très sérieux (-2). Les essais randomisés ont un score de départ de 4/4, et les points sont décomptés s'ils présentent des facteurs de biais.

Pour chaque critère de jugement, nous avons évalué la présence ou non de ces critères, ainsi que leur caractère sérieux ou très sérieux s'ils étaient présents. Malgré que les études soient toutes des essais randomisés avec un niveau de qualité de preuve élevé, la présence de risques de biais, de mesure indirecte et d'imprécision réduit le niveau de qualité de preuve des résultats de la revue.

Le tableau suivant en est la synthèse et définit un Grade pour chaque critère de jugement principal et secondaire.

<i>Critère de jugement</i>	<i>Nombre d'études</i>	<i>Nombre de patients</i>	<i>Biais</i>	<i>Hétérogénéité</i>	<i>Mesure indirecte</i>	<i>Imprécision</i>	<i>Publication</i>	<u><i>GRADE</i></u>
DEP (L/s)	2 ECR	28	Très sérieux	Non	Sérieux	Sérieux	Non	Faible
CVF (L)	3 ECR	33	Très sérieux	Non	Sérieux	Sérieux	Non	Faible
CV (L)	1 ECR	13	Très sérieux	Non	Non	Sérieux	Non	Faible
VEMS (L)	1 ECR	13	Très sérieux	Non	Non	Sérieux	Non	Faible
CI (L)	1 ECR	7	Très sérieux	Non	Non	Sérieux	Non	Faible
PIM/PEM (mmH ₂ O)	1 ECR	13	Très sérieux	Non	Non	Sérieux	Non	Faible
P_{gas}/P_{oes} (cmH ₂ O)	1 ECR	15	Très sérieux	Non	Non	Sérieux	Non	Faible

Tableau 15 : Qualité de preuves des résultats de cette revue selon le système GRADE.
Encadré vert : critères de jugement principaux.

Ainsi les résultats obtenus pour chaque critère de jugement sont considérés comme « **faibles** » selon le système GRADE (Annexe 6), ce qui signifie que « nous avons une confiance limitée dans l'estimation de l'effet : celle-ci peut être nettement différente du véritable effet ». [53]

La recommandation de l'utilisation de la SEF abdominale chez les blessés médullaires présentant une paralysie abdominale pour améliorer leur toux et leur capacité respiratoire est relativement faible d'après le système GRADE.

La qualité de preuve peut également être évaluée grâce aux recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS).

Elle classe ses recommandations en 3 grades, A, B et C :

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

Tableau 16 : Tableau synthétisant le Grade pour chaque niveau de preuve fourni par la littérature. [53]

Concernant les articles de cette revue de littérature, la recommandation serait de grade **B**. Malgré que les études sélectionnées soient des essais comparatifs randomisés, il est justifié de les qualifier de faible puissance à cause des nombreux biais, des échantillons limités et des qualités méthodologiques faibles.

4.4. Biais potentiels de la revue

4.4.1. Analyse critique

La rédaction de cette revue comporte un grand nombre de biais. Dans un premier temps, les biais résumés dans le « *Tableau 9 : Synthèse des biais présents dans les études de la revue* » sont à prendre en considération tout au long de cette revue. De plus, les faibles scores PEDro allant de 2 à 5/10 représentent des biais considérables à l'analyse des études et de leurs résultats. Le choix des études peut faire l'objet d'une critique.

Concernant les tailles d'échantillon, elles sont beaucoup trop faibles et ne sont pas représentatives d'une population générale. De plus, l'importante hétérogénéité des populations aurait pu être réduite par la décision de critères d'inclusion et d'exclusion supplémentaires. Néanmoins, le nombre d'études traitant ce sujet étant faibles, des critères plus stricts nous auraient probablement donné aucun résultat lors des recherches sur les bases de données.

D'autre part, les protocoles des études diffèrent en de nombreux points. Le critère d'inclusion concernant l'intervention était l'application de stimulation électrique sur les abdominaux, or les modalités de courant sont très variables et aucune étude ne présentait un dispositif et un protocole d'application identique.

En termes de comparateur, chaque étude était également différente. Aucune n'a comparé la SEF à une même thérapeutique, ce qui biaise considérablement la revue.

Enfin les critères de jugement principaux sont comparés dans 2 ou 3 études ; ce nombre est trop faible pour pouvoir tirer des conclusions sur une réelle efficacité de l'intervention choisie. Les critères de jugements secondaires ne sont présents à chaque fois que dans une étude ; leur analyse permet uniquement d'appuyer nos dires, mais pas de conclure.

L'ensemble de ces biais concernant la méthodologie de la revue sont à prendre en réelle considération lors de la lecture.

En ce qui concerne la discussion, le manque de connaissance concernant les outils statistiques a pu impacter notre interprétation des résultats.

Par-dessus tout, le principal biais de cette revue est lié à son unique rédacteur. Malgré la volonté d'être le plus neutre possible dans la rédaction, le fait qu'elle ne soit menée que par un seul auteur constitue un biais.

4.4.2. Echelle AMSTAR-2

Il est intéressant d'appuyer l'analyse critique de ce travail en évaluant sa qualité méthodologique. Pour cela, l'utilisation des 16 items de l'échelle **AMSTAR-2** a été privilégiée. Elle permet, selon les réponses obtenues, de déterminer un niveau de la confiance globale des résultats de cette revue, qui peut être « élevé », « modéré », « faible » ou « très faible ».

Ce niveau est déterminé selon la présence de domaines critiques, c'est-à-dire si les items 2, 4, 7, 9, 11, 13 et 15 ont une réponse négative. Dans le cas de notre revue, aucune méta-analyse n'a été réalisée ; les items 11 et 15 ne seront ainsi par compris dans les domaines critiques car non évaluables. [54]

<i>Items</i>	<i>Réponses</i>
Item 1 : Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critère PICO ?	Oui
Item 2 : Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?	Oui partiellement
Item 3 : Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?	Oui
Item 4 : Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?	Oui partiellement
Item 5 : Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?	Non
Item 6 : Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?	Non
Item 7 : Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?	Oui
Item 8 : Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?	Oui

Item 9 : Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?	Oui
Item 10 : Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?	Non
Item 11 : Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?	Non évaluable
Item 12 : Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?	Non évaluable
Item 13 : Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?	Oui
Item 14 : Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?	Oui
Item 15 : S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?	Non évaluable
Item 16 : Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?	Oui

Tableau 17 : Application de l'échelle AMSTAR-2 à notre revue de littérature.

Les items critiques sont tous validés complètement ou partiellement. Cependant, 2 items non-critiques ne le sont pas concernant la double sélection des études et la double extraction des données. L'item 10 concernant les sources de financement des études incluses n'est pas approuvé car seules 2 études sur les 4 sélectionnées indiquent leur source de financement.

Nous pouvons classer cette revue avec un niveau de confiance **modéré** selon les conditions suivante :
« Plus d'une faiblesse non-critique : la revue systématique présente plusieurs faiblesses, mais aucun lacune critique. Elle peut fournir un résumé précis des résultats des études disponibles qui ont été incluses dans la revue » [54]

5. Conclusion

L'utilisation de la Stimulation Electrique Fonctionnelle s'est considérablement généralisée dans les différents domaines médicaux et paramédicaux. Cette revue de littérature permet de faire une mise au point sur la place qu'occupe aujourd'hui cette technique dans le domaine kinésithérapique, et d'actualiser son intérêt dans les domaines respiratoire et neurologique.

5.1. *Implication pour la pratique clinique*

La paralysie abdominale des blessés médullaires est une conséquence de la lésion médullaire pouvant entraîner une toux inefficace, une stagnation des sécrétions bronchiques et la survenue de complications pulmonaires, ceci étant la cause la plus fréquente de mortalité chez les blessés médullaires. [28] L'intervention de la kinésithérapie respiratoire dans le domaine neurologique constitue un réel besoin.

Les nombreuses limites de cette revue (échantillons faibles, absence de protocole unique, population trop hétérogène...) ne permettent pas de généraliser l'intervention à toute la population de blessés médullaires présentant une paralysie abdominale et une réduction de la toux et la fonction respiratoire. L'applicabilité en pratique clinique est compromise par les nombreux biais et problèmes soulevés.

Par ailleurs, des améliorations significatives du DEP et de la CVF en faveur de la SEF ont été observées ; aucun effet régressif et délétère ne semble avoir été engendré. Or les nombreux biais et limites pondèrent ces résultats et ne nous permettent pas d'affirmer clairement sur l'efficacité de la SEF dans l'amélioration de la toux et de la fonction respiratoire chez les patients blessés médullaires atteints de paralysie abdominale.

Il reste ainsi intéressant d'établir un protocole de stimulation avec une description précise des modalités d'application et de courant permettant d'obtenir les meilleurs résultats. De plus, les effets de l'âge, du niveau lésionnel, du score ASIA et du temps écoulé depuis la lésion sur l'optimisation ou non de la SEF mériteraient d'être approfondis.

5.2. *Implication pour la recherche*

Il est notable que le sujet choisi n'a pas fait l'objet de beaucoup de publication d'études. Or lors de nos recherches sur les bases de données, et sur Cochrane particulièrement, 8 études récentes datant de 2017 à 2021 apparaissent ; malheureusement, les résultats n'étant pas encore récoltés ou publiés, ces études n'ont pas pu être exploitées et incluses dans la revue. Il est donc intéressant de voir que depuis 5 ans, de nouvelles études sont en cours de réalisation dans le but d'apporter de nouvelles réponses au sujet de la SEF dans le traitement respiratoire chez les blessés médullaires.

Afin d'obtenir des résultats plus précis et moins biaisés, beaucoup de modifications devraient être apportées dans la réalisation des études, notamment sur les assignations secrètes et en « double aveugle », sur les tailles d'échantillon qui doivent être beaucoup plus importantes pour être significatives, et sur leur homogénéité qui doit être primordiale à rechercher.

Enfin dans le but d'obtenir un protocole généralisé, toutes les modalités d'application (fréquence et durée d'impulsion, durée du train d'impulsion, type d'onde et d'application, durée de traitement...) doivent être précisées dans les études.

En définitive, la SEF mérite de faire l'objet de nouvelles études avec des échantillons plus représentatifs de la population et un protocole de stimulation homogène entre les différentes expérimentations, afin de confirmer son réel impact sur la fonction respiratoire des blessés médullaires.

Dans la continuité logique de cette revue, il semblerait que le risque de survenue de complications pulmonaires puisse être réduit par l'intervention de la SEF. Par conséquent, il serait pertinent de mener des études afin de répondre au questionnement suivant : sur le long-terme, la SEF a-t-elle un impact sur la qualité de vie et l'apparition de complications respiratoires chez les blessés médullaires ?

L'auteur ne déclare aucun conflit d'intérêt ni aucun financement pour la réalisation de cette revue de littérature.

Bibliographie

- [1] Dufour M. Anatomie des Organes et Viscères Tête, Cou et tronc. 2013.
- [2] Kamina P. Anatomie Clinique TOME 2 Tête, Cou, Dos. 2006.
- [3] Kamina P. Anatomie Clinique TOME 3 Thorax, Abdomen. 2006.
- [4] Tortora GJ, Derrickson B. Principles of Anatomy and Physiology 15th edition. 2017.
- [5] Ratnovsky A, Elad D, Halpern P. Respiratory Physiology & Neurobiology Mechanics of respiratory muscles 2008;163:82–9. doi:10.1016/j.resp.2008.04.019.
- [6] Dufour M. Anatomie de l'Appareil Locomoteur Tête et Tronc. 2017.
- [7] Benditt JO. The Neuromuscular Respiratory System : Physiology , Pathophysiology , and a Respiratory Care Approach to Patients Introduction : Historical Overview Functional Anatomy of the Neurorespiratory System Summary : A Respiratory Approach to the Individual Intro 2006.
- [8] Schilero GJ, Bauman WA, Radulovic M. Traumatic Spinal Cord Injury Pulmonary Physiologic Principles and Management. Clin Chest Med 2018.
- [9] Troyer A De, Estenne M. The expiratory muscles in tetraplegia 1991;29:359–63.
- [10] Estenne M, Knoop C, Vanvaerenbergh J, Heilporn A, Trover ADE. The Effect of Pectoralis Muscle Training in Tetraplegic Subjects 1989.
- [11] Robert Y, Rabattu P, Selek L, Chaffanjon P. Anatomie et biomécanique du thorax antérieur Anatomy and biomechanics of the anterior chest. Rev Du Rhum Monogr 2015;82:75–82. doi:10.1016/j.monrhu.2015.01.002.
- [12] NETTER FH. Atlas d'anatomie humaine 6è édition. 2015.
- [13] Troyer DE, Kirkwood PA, Wilson TA, Troyer D. Respiratory Action of the Intercostal Muscles 2021:717–56. doi:10.1152/physrev.00007.2004.
- [14] BOUBEE M. Bilans analytiques et fonctionnels en rééducation neurologique TOME 1 Tronc et Membres Inférieurs. 1981.
- [15] Mclafferty E, Johnstone C, Hendry C, Farley A. Respiratory system part 2 : gaseous exchange 2016:35–42.
- [16] GERMOUTY J. La Fonction Respiratoire Exploration et Physiopathologie. 1969.
- [17] Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes 2005;26:511–22. doi:10.1183/09031936.05.00035005.
- [18] Gibson G. LUNG VOLUMES AND ELASTICITY 2001;i:623–35.
- [19] Roth EJ, Nussbaum SB, Berkowitz M, Primack S, Oken J, Powley S, et al. Pulmonary function testing in spinal cord injury : correlation with vital capacity 1995:454–7.
- [20] Urfy MZ, Suarez JI. Breathing and the nervous system. vol. 119. 1st ed. Elsevier B.V.; 2014. doi:10.1016/B978-0-7020-4086-3.00017-5.
- [21] Nogués MA, Roncoroni AJ, Benarroch E. Breathing control in neurological diseases 2002:440–9. doi:10.1007/s10286-002-0067-1.
- [22] Zimmer MB, Nantwi K, Goshgarian HG. Effect of Spinal Cord Injury on the Respiratory System :

- Basic Research and Current Clinical Treatment Options 2007:319–30.
- [23] Park JH, Kang S, Lee SC, Choi WA, Kim DH. How Respiratory Muscle Strength Correlates with Cough Capacity in Patients with Respiratory Muscle Weakness 2010;51:392–7. doi:10.3349/ymj.2010.51.3.392.
- [24] Wang AY, Jaeger RJ, Yarkony GM, Turba RM. Cough in spinal cord injured patients : the relationship between motor level and peak expiratory flow 1997:299–302.
- [25] VANDEVENNE A. Rééducation respiratoire Bases cliniques, physiopathologie et résultats. 1999.
- [26] Fuller R, Jackson D. Physiology and treatment of cough 1990:425–30.
- [27] Fink JB. Forced Expiratory Technique , Directed Cough , and Autogenic Drainage n.d.:1210–23.
- [28] BERLOWITZ DJ, WADSWORTH B, ROSS J. Respiratory problems and management in people with spinal cord injury n.d.;12:328–40.
- [29] Janssens J-P. Physiologie de la toux 2004.
- [30] RIFFARD G, JOUVE A, LABELIX P. Que faire en cas d'inefficacité de la toux ? Intérêt et modalités d'utilisation du Cough Assist 2010.
- [31] OMS. Lésions de la Moelle Epinière Perspectives Internationales. 2013.
- [32] Nas K, Yazmalar L, Şah V, Aydın A, Öneş K. Rehabilitation of spinal cord injuries 2015;6:8–16. doi:10.5312/wjo.v6.i1.8.
- [33] Seuret F. Portrait chiffré des blessés médullaires n.d.:6–8.
- [34] Quintard H. Prise en charge ventilatoire du tétraplégique : du bloc opératoire à la réanimation. Anesthésie & Réanimation 2019;5:382–6. doi:10.1016/j.anrea.2019.04.008.
- [35] HAS. Guide - ALD - Paraplégies (lésions médullaires) 2007:1–36.
- [36] DELAVA J, PAQUET A, CRESSARD P, LEMAIRE J-F, PHELINE C, STECKEN. J. Neurologie Centrale chez l'Adulte et Réadaptation. 1988.
- [37] Vázquez RG, Sedes PR, Fariña MM, Marqués AM, Velasco MEF. Respiratory Management in the Patient with Spinal Cord Injury 2013;2013.
- [38] Wadsworth BM, Haines TP, Cornwell PL, Rodwell LT, Paratz JD. Abdominal Binder Improves Lung Volumes and Voice in People With Tetraplegic Spinal Cord Injury. YAPMR 2012;93:2189–97. doi:10.1016/j.apmr.2012.06.010.
- [39] Estenne M, Troyer A De. Cough in Tetraplegic Subjects : An Active Process 1990:22–8.
- [40] Gorman PH. An Update on Functional Electrical Stimulation After Spinal Cord Injury 2000;14:251–63.
- [41] Mccaughey EJ, Borotkanics RJ, Gollee H, Folz RJ, Mclachlan AJ. Abdominal functional electrical stimulation to improve respiratory function after spinal cord injury : a systematic review and meta-analysis 2016:628–39. doi:10.1038/sc.2016.31.
- [42] HAS. Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. 2012.
- [43] Team SC, SPROULE S. Stimulation électrique fonctionnelle (SEF) Points clés 2017:1–8.
- [44] Ragnarsson KT. Functional electrical stimulation after spinal cord injury : current use , therapeutic effects and future directions 2008:255–74. doi:10.1038/sj.sc.3102091.

- [45] Gaviria M, Rabischong E, Ohanna F, Hertogh C. Stimulation électrique fonctionnelle et fatigue musculaire du muscle paralyse chez le blessé médullaire paraplégique : effet de la vitesse d'activation et du niveau d'activation des unités motrices 1999.
- [46] Luo S, Xu H, Zuo Y, Liu X, All AH. A Review of Functional Electrical Stimulation Treatment in Spinal Cord Injury. *NeuroMolecular Med* 2020. doi:10.1007/s12017-019-08589-9.
- [47] McBain RA, Boswell-ruys CL, Lee BB, Gandevia SC, Butler JE. Abdominal Muscle Training Can Enhance Cough After Spinal Cord Injury 2013. doi:10.1177/1545968313496324.
- [48] Cheng P, Chen C, Wang C, Chung C. EFFECT OF NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION ON COUGH CAPACITY AND PULMONARY FUNCTION IN PATIENTS WITH ACUTE CERVICAL CORD INJURY 2006:32–6. doi:10.1080/16501970510043387.
- [49] González R, Yanely L, Nancy DC, Fuentes P, Yohandra D. Capacidad respiratoria proporcional para el habla mediante electroestimulación abdominal en personas con lesiones medulares cervicales Behavior of proportional breathing capacity for speaking by using abdominal electrical stimulation 2015;7:160–71.
- [50] Hascakova-Bartova R, Dinant J, Parent A, Ventura M. Neuromuscular electrical stimulation of completely paralyzed abdominal muscles in spinal cord-injured patients : a pilot study Neuromuscular electrical stimulation of completely paralyzed abdominal muscles in spinal cord-injured patients : a pilot study 2008. doi:10.1038/sj.sc.3102166.
- [51] 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 2019. doi:10.1183/13993003.01214-2018.
- [52] Benditt JO. Esophageal and Gastric Pressure Measurements 2005:68–77.
- [53] HAS. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - HAS 2013.
- [54] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2 : a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions , or both 2017. doi:10.1136/bmj.j4008.

Table des illustrations

Figure 1 : Ramifications de l'arbre bronchique [4]

Figure 2 : Principaux muscles du thorax aidant à la respiration. [4]

Figure 3 : Spirogramme présentant les volumes et capacités pulmonaires. [4]

Figure 4 : Principe de la SEF. [45]

Figure 5 : Capture d'écran de l'équation de recherche PubMed.

Figure 6 : Capture d'écran des équations de recherche Pedro.

Figure 7 : Capture d'écran de l'équation de recherche sur Cochrane Library.

Figure 8 : Diagramme de Flux.

Tableau 1 : Anatomie du diaphragme.

Tableau 2 : Anatomie des muscles inspiratoires accessoires.

Tableau 3 : Anatomie des muscles expirateurs.

Tableau 4 : Complications respiratoires en fonction du niveau lésionnel.

Tableau 5 : Modèle PICO de la revue de littérature.

Tableau 6 : Raisons d'exclusion des articles après lecture complète.

Tableau 7 : Modalités d'application de la stimulation électrique dans les différentes études.

Tableau 8 : Tableau synthétique des 4 études incluses dans la revue.

Tableau 9 : Score PEDro des études sélectionnées pour cette revue.

Tableau 10 : Synthèse des biais présents dans les études de la revue.

Tableau 11 : synthèse des critères de jugements de chaque étude.

Tableau 12 : Classification de l'efficacité de la toux après intervention dans 2 des études de la revue.

Tableau 13 : Tableau des niveaux de qualité selon le système GRADE [52]

Tableau 14 : Tableau de synthèse des critères évalués par le système GRADE [52]

Tableau 15 : Qualité de preuves des résultats de cette revue selon le système GRADE.

Tableau 16 : Tableau synthétisant le Grade pour chaque niveau de preuve fourni par la littérature. [52]

Tableau 17 : Application de l'échelle AMSTAR-2 à notre revue de littérature.

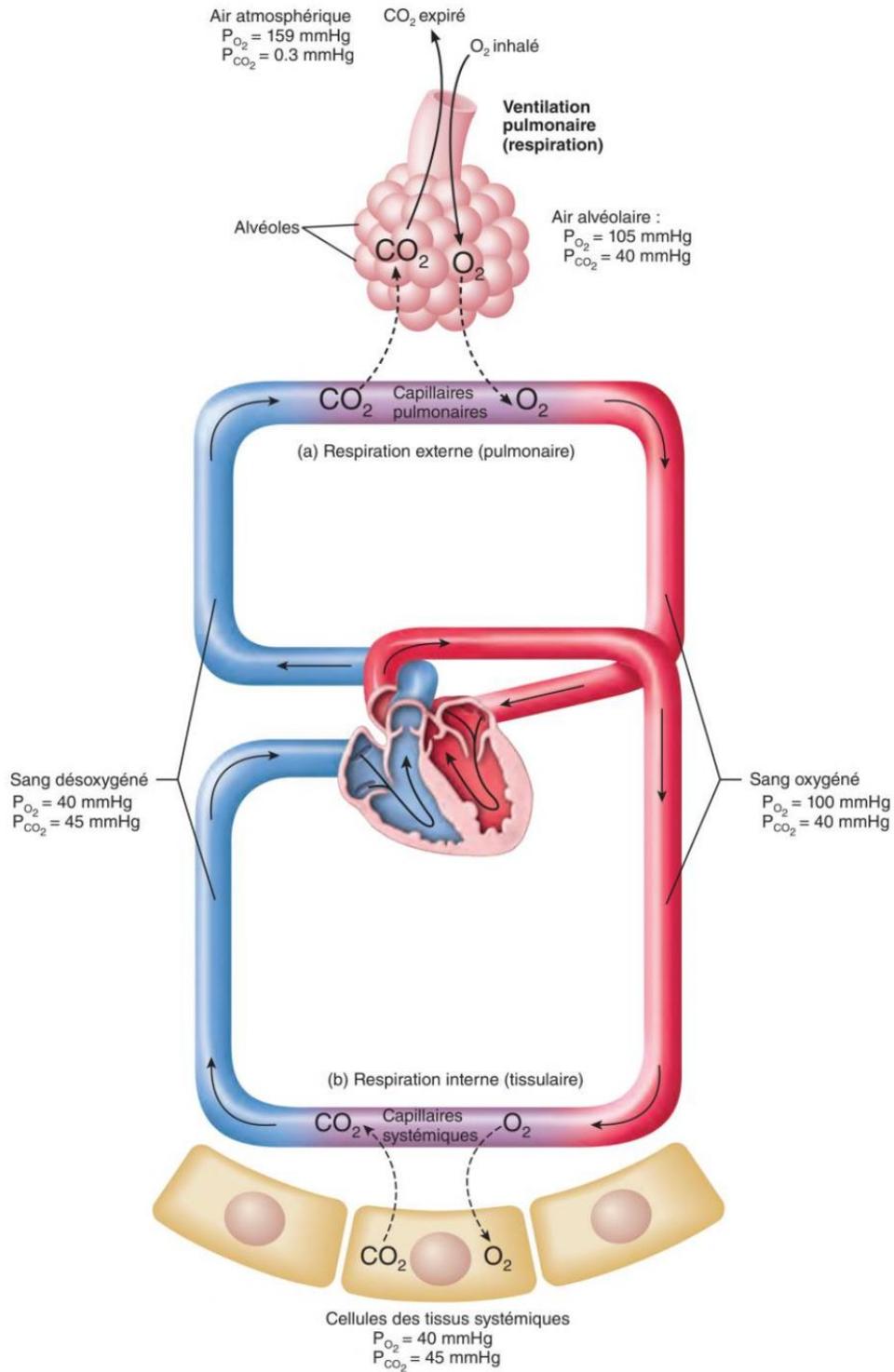
Photo 1 : Electrodes de surface.

Annexes

- **Annexe 1** : Modifications des pressions partielles en oxygène et dioxyde de carbone au cours de la respiration interne et de la respiration externe.
- **Annexe 2** : Rôle du centre respiratoire médullaire au cours de la respiration normale au repos et au cours de la respiration profonde (forcée).
- **Annexe 3** : Commande médullaire de la respiration assurée par les groupes respiratoires.
- **Annexe 4** : Commande périphérique et Régulation de la respiration.
- **Annexe 5** : Etapes du mécanisme de toux.
- **Annexe 6** : Exemple de dispositif de Cough Assist et de son utilisation.
- **Annexe 7** : Moyens d'évaluation de l'efficacité de la toux et de la fonction respiratoire.
- **Annexe 8** : Coupe transversale anatomique de la Moelle Epinière.
- **Annexe 9** : Score ASIA.
- **Annexe 10** : Echelle PEDro.

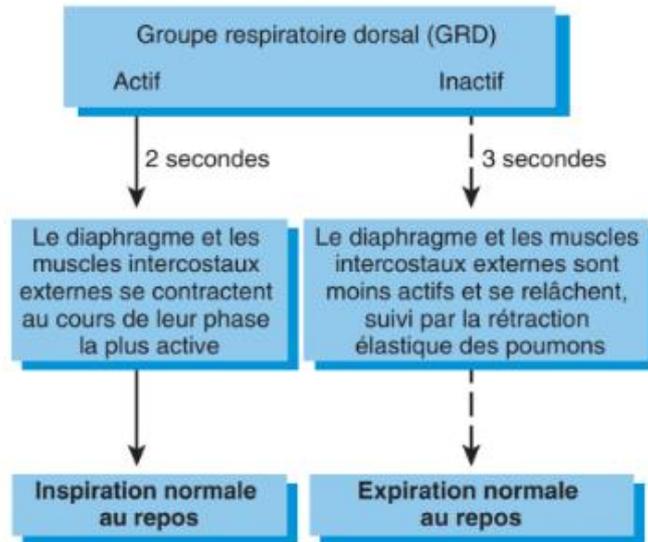
Annexe 1

Modifications des pressions partielles en oxygène et dioxyde de carbone au cours de la respiration interne et de la respiration externe. [4]

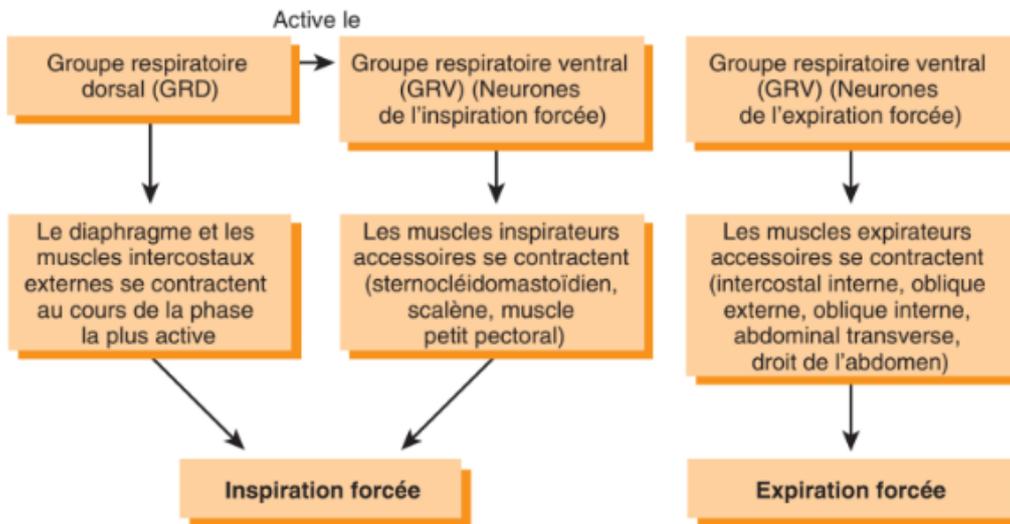


Annexe 2

Rôle du centre respiratoire médullaire au cours de la respiration normale au repos et au cours de la respiration profonde (forcée). [4]



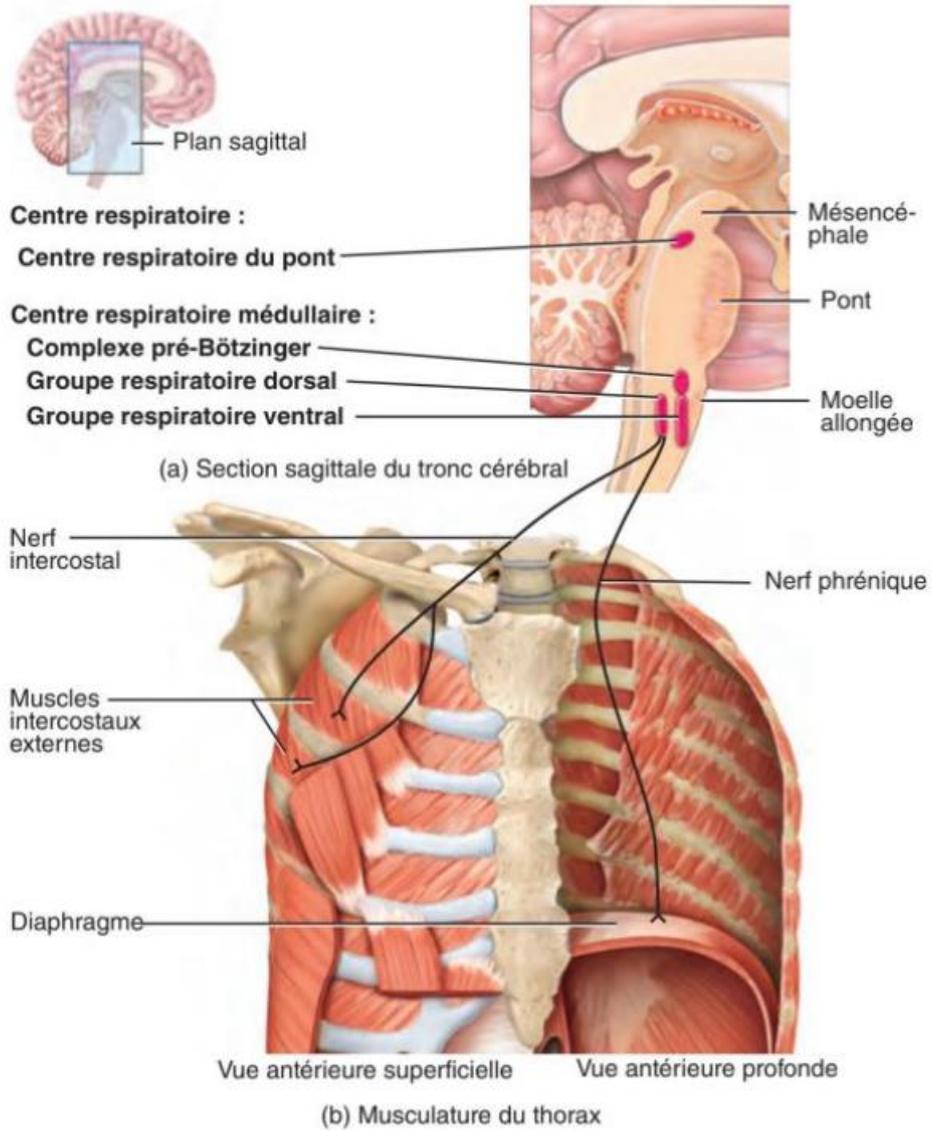
(a) Au cours de la respiration normale au repos



(b) Au cours de la respiration forcée

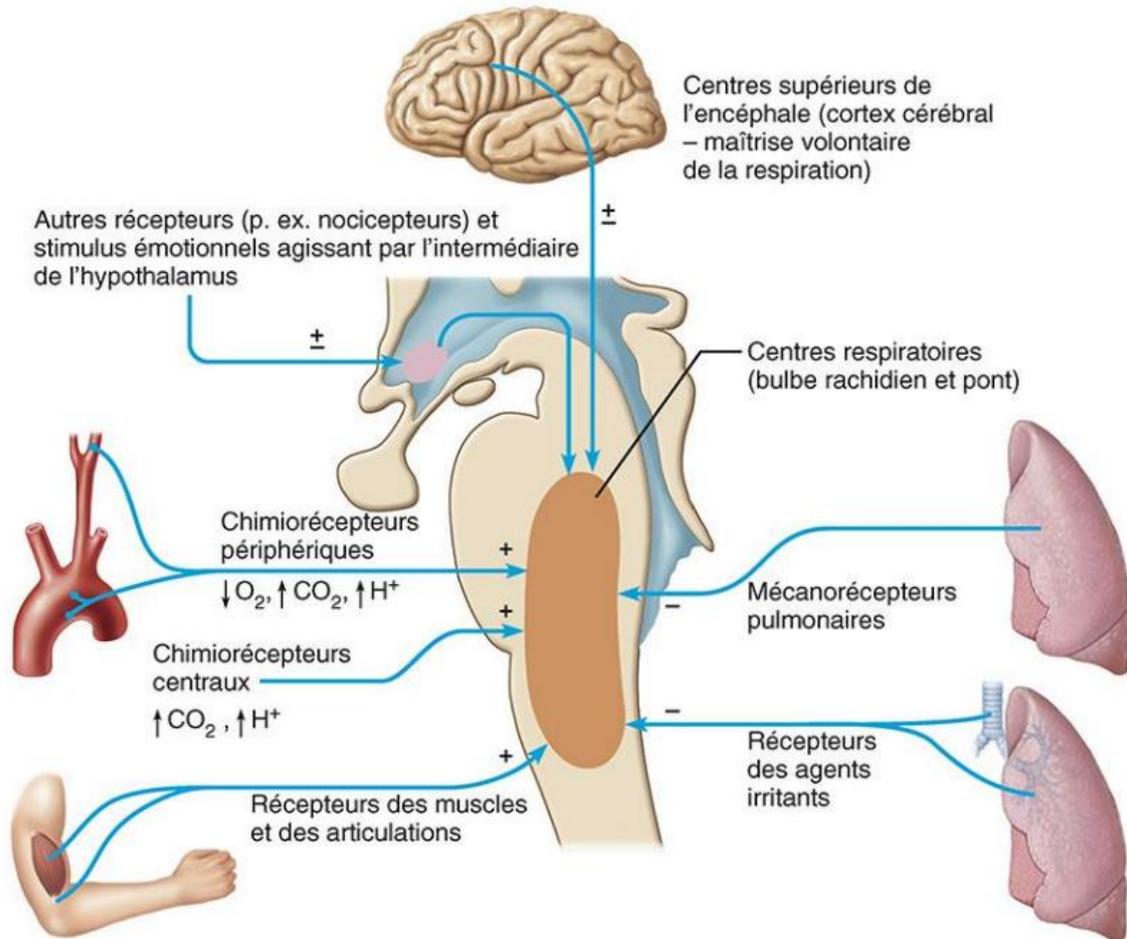
Annexe 3

Commande médullaire de la respiration assurée par les groupes respiratoires. [4]



Annexe 4

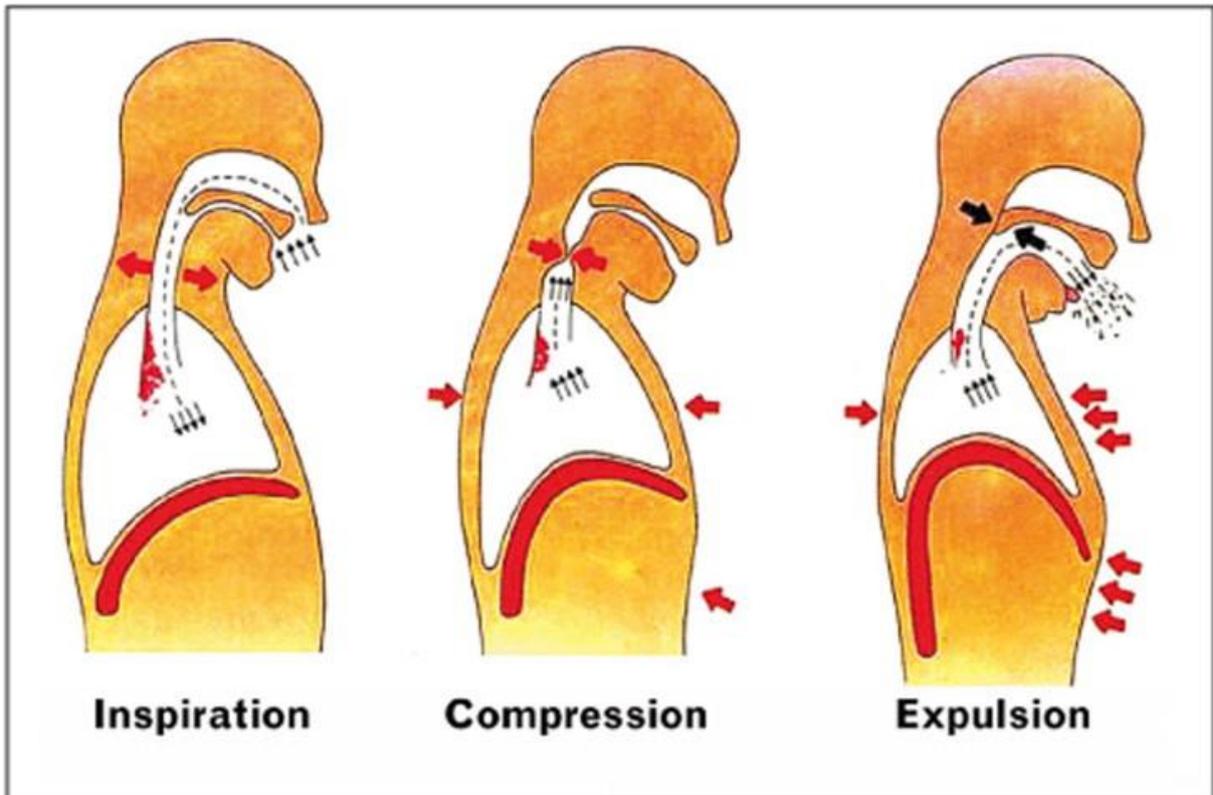
Commande périphérique et Régulation de la respiration. ¹⁰



¹⁰ https://carolineleducbiologie.weebly.com/uploads/5/5/7/8/5578290/systeme_respiratoire_-_la_regulation.pdf

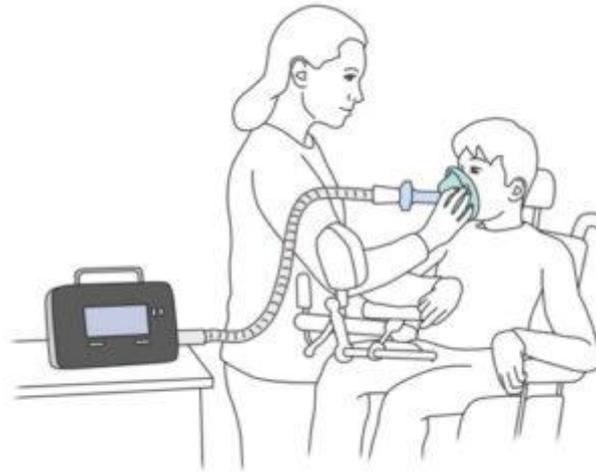
Annexe 5

Etapes du mécanisme de toux. [30]



Annexe 6

Exemple de dispositif de Cough Assist et de son utilisation.



Exemple d'utilisation du Cough Assist



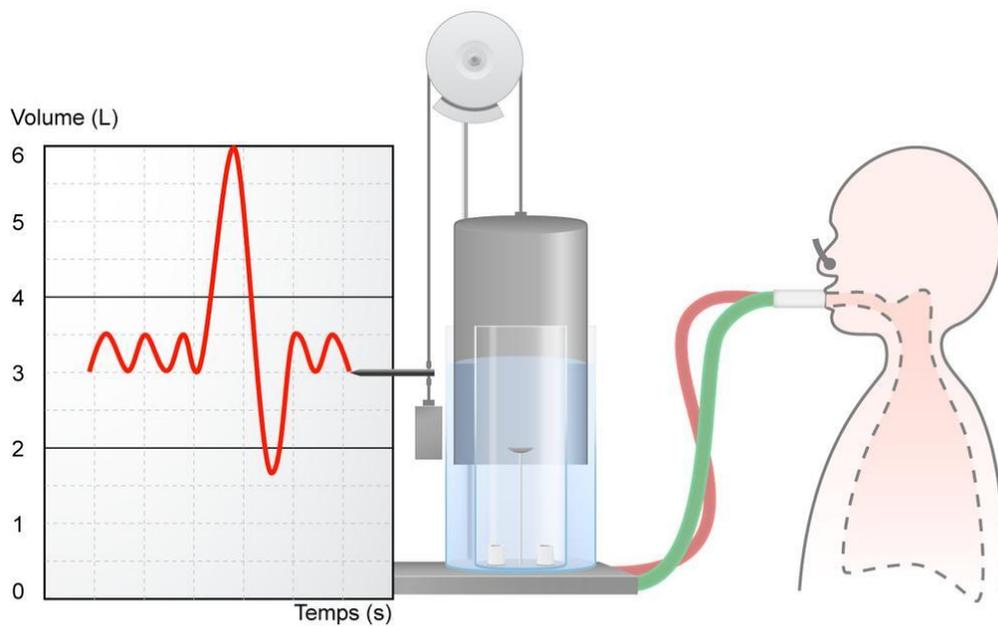
Exemple de dispositif de Cough Assist.

Annexe 7

Moyens d'évaluation de l'efficacité de la toux et de la fonction respiratoire.



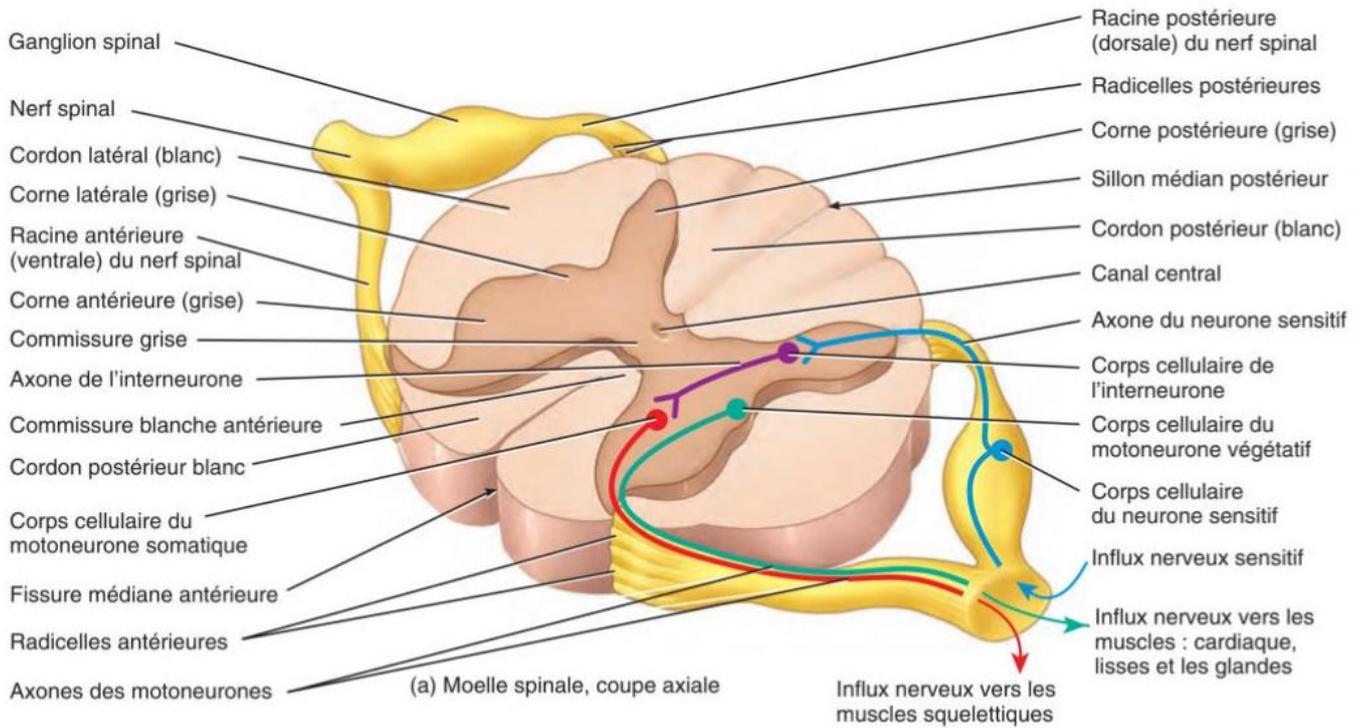
Débitmètre de pointe (en L/min)



Mesure par Spirométrie (volumes en L)

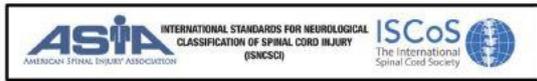
Annexe 8

Coupe transversale anatomique de la Moelle Epinière. [4]



Annexe 9

Score ASIA



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



DROITE MOTEUR MUSCLES CLÉS POINTS SENSITIFS CLÉS Toucher (LTD) Piqure (PPD)

GAUCHE MOTEUR MUSCLES CLÉS POINTS SENSITIFS CLÉS Toucher (LTG) Piqure (PPG)

MSD (membre supérieur droit)
 Flexion du coude C5
 Extension du poignet C6
 Extension du coude C7
 Flexion du majeur C8
 Abduction du 5ème doigt T1

MSG (membre supérieur gauche)
 Flexion du coude C5
 Extension du poignet C6
 Extension du coude C7
 Flexion du majeur C8
 Abduction du 5ème doigt T1

MID (membre inférieur droit)
 Flexion de la hanche L2
 Extension du genou L3
 Dorsiflexion de cheville L4
 Extension du gros orteil L5
 Flexion plantaire de cheville S1

MIG (membre inférieur gauche)
 Flexion de la hanche L2
 Extension du genou L3
 Dorsiflexion de cheville L4
 Extension du gros orteil L5
 Flexion plantaire de cheville S1

(VAC) Contraction Anale Volontaire (Oui / Non) S4-5

(DAP) Pression anale profonde (Oui / Non) S4-5

SCORES MOTEURS
 MSD + MSG = MS TOTAL (50)
 MID + MIG = MI TOTAL (50)

SCORES SENSITIFS
 LTD + LTG = LT TOTAL (112)
 PPD + PPG = PP TOTAL (112)

NIVEAUX NEUROLOGIQUES
 1. SENSITIF D G
 2. MOTEUR D G
 3. NIVEAU LÉSIONNEL
 4. COMPLETE OU INCOMPLETE
 5. SCORE DE DEFICIENCE ASIA (AIS)

ZONE DE PRÉSERVATION PARTIELLE D G
SENSITIVE MOTRICE D G

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

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 hyperesthésie)
- 2 = normale
- NT = non testable

Fonctions musculaires non clés (facultatifi)

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 Coude : supination	C5
Coude : pronation Poignet : flexion	C6
Doigts : flexion, extension Pouce : flexion, extension, abduction dans le plan	C7
Doigts : flexion MCP Pouce : opposition, adduction et abduction dans le plan perpendiculaire à la paume	C8
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	L5
Hallux et Orteils : flexion et abduction IPP et IPD	L5
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

1. Déterminer les niveaux sensitifs pour les côtés droit et gauche.
Le niveau sensitif est le dernier dermatome sain pour la piqure et le toucher.
2. 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.
3. 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.
4. 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**.
5. Déterminer le score de déficience ASIA

Est-ce une lésion **complète** ? Si OUI, ASIA = A et noter la zone de préservation partielle (dernier dermatome ou myotome de chaque côté avec une préservation)

Est-ce une lésion motrice **complète** ? Si OUI, ASIA = B (Non = contraction anale volontaire OU présence d'une fonction motrice sur plus de trois niveaux au-dessous du niveau moteur sur un côté donné, si le patient a une classification sensitive incomplète)

Y a-t-il au moins la moitié (moyé ou plus) des muscles clés en dessous du niveau neurologique lésionnel classés 3 ou mieux ?

NON → ASIA = C
 OUI → ASIA = D

Si la sensation et la fonction motrice sont normales dans tous les segments, alors ASIA = E (si ATCD lésion documentée)



Annexe 10
Echelle PEDro

Échelle PEDro – Français

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

Résumé

Introduction : la population des blessés médullaires représentent une part considérable de la population. La paralysie abdominale chez ces patients constituent un réel problème respiratoire pouvant entraîner la survenue de lourdes complications pouvant aller jusqu'au décès. De nombreuses méthodes kinésithérapiques sont utilisées afin de pallier ce problème ; ces dernières années, la Stimulation Electrique Fonctionnelle (SEF) a été intégrée au domaine neurologique.

Objectif(s) : évaluer l'effet de la SEF sur l'amélioration de le toux et des fonctions respiratoires chez les blessés médullaires atteints de paralysie abdominale.

Méthodologie de recherche : une revue de la littérature scientifique a été réalisée à partir de quatre bases de données : PEDro, PubMed, Cochrane et Google Scholar. Quatre essais randomisés ont été sélectionnés selon une liste de critères établie. Ces essais étudient l'effet de la SEF appliquée sur la paroi abdominale paralysée des patients blessés médullaires, dans le but d'améliorer leur toux et capacité respiratoire.

Résultats et analyse : les quatre études sélectionnées présentent de nombreux biais qui ont été pris en compte lors du compte rendu et de l'analyse des résultats. Les critères de jugements principaux étaient le DEP pour l'efficacité de la toux, et la CVF pour la fonction respiratoire. Des critères de jugements secondaires ont appuyé nos résultats et notre discussion. Les résultats ont montré une légère amélioration en faveur de la SEF, cependant ils sont à pondérer avec l'hétérogénéité des études et la présence de biais.

Discussion : la SEF semble améliorer la fonction respiratoire des blessés médullaires. L'avantage est que cette méthode est adaptable à chaque patient. Cependant le coût, l'accessibilité, l'absence de protocole défini et l'hétérogénéité des populations étudiées ne permettent pas de conclure clairement sur l'efficacité de cette méthode. D'autres études tenant compte de ces paramètres nécessiteraient d'être menées.

Mots clés : spinal cord injury, electrical stimulation, cough, abdominal paralysis, forced expiratory volume, forced vital capacity.

Abstract

Introduction: the population of spinal cord injured people represents a considerable part of the population. Abdominal paralysis in these patients is a real respiratory problem that can lead to serious complications including death. Many physiotherapy methods are used to overcome this problem; in recent years, Functional Electrical Stimulation (FES) has been incorporated into the neurological field.

Objective(s): to assess the effect of FES on improving cough and respiratory function in spinal cord injured patients with abdominal paralysis.

Research methodology: A review of scientific literature was carried out using four databases: PEDro, PubMed, Cochrane, and Google Scholar. Four randomized trials were selected according to an established list of criteria. These trials studied the effect of FES applied to the paralyzed abdominal wall of spinal cord injured patients, with the aim of improving their cough and breathing capacity.

Results and analysis: the four selected studies present numerous biases which were taken into account when reporting and analysing the results. The main judgment criteria were PEF (Peak Expiratory Flow) for cough efficiency, and FVC (Forced Vital Capacity) for respiratory function. Secondary judgment criteria supported our results and our discussion. The results showed a slight improvement in favour of FES; however, they are to be balanced with the heterogeneity of the studies and the presence of biases.

Discussion: FES seems to improve respiratory function in spinal cord injured patients. The advantage is that this method is adaptable to each patient. However, the cost, accessibility, lack of a defined protocol and the heterogeneity of the populations studied do not allow a clear conclusion to be drawn on the effectiveness of this method. Further studies taking these parameters into account would need to be carried out.

Keywords: spinal cord injury, electrical stimulation, cough, abdominal paralysis, forced expiratory volume, forced vital capacity.