



**LES TECHNIQUES DE RÉÉDUCATION SPÉCIFIQUES DU
DIAPHRAGME ASSOCIÉES À UN PROGRAMME DE
RÉHABILITATION PULMONAIRE DANS LE PRISE EN CHARGE DE
LA DYSPNÉE CHEZ UN PATIENT ATTEINT DE BRONCHO-
PNEUMOPATHIE CHRONIQUE OBSTRUCTIVE**

Les effets de l'entraînement des muscles inspiratoires

Revue de littérature

INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERPIE DE DIJON



**LES TECHNIQUES DE RÉÉDUCATION SPÉCIFIQUES DU
DIAPHRAGME ASSOCIÉES À UN PROGRAMME DE
RÉHABILITATION PULMONAIRE DANS LE PRISE EN CHARGE DE
LA DYSPNÉE CHEZ UN PATIENT ATTEINT DE BRONCHO-
PNEUMOPATHIE CHRONIQUE OBSTRUCTIVE**

Les effets de l'entraînement des muscles inspiratoires

Revue de littérature

Directeur de mémoire : Madame HAMIDI Siham, masseur-kinésithérapeute diplômée d'état.

Remerciements

A mes parents, Annie et Jean-Pierre, pour leur soutien tout au long de mes études. Vous m'avez offert la chance de pouvoir réaliser ces études et exercer un magnifique métier. Je vous en serai éternellement reconnaissante.

A mon frère, pour son soutien inconscient mais important.

A ma famille, pour son soutien sans faille.

A Madame Siham HAMIDI, directeur de mémoire, pour sa disponibilité, son encadrement et ses conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

A l'IFMK de Dijon, aux professeurs et à l'équipe pédagogique, pour la qualité de ma scolarité au sein de cette école.

A toutes les personnes dont j'ai croisé la route pendant ces années d'étude, camarades, tuteurs de stage, professeurs pour qui ont contribué à faire de moi la future professionnelle de santé que je rêvais d'être.

Glossaire

BPCO : broncho-pneumopathie chronique obstructive

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

VEMS : volume d'éjection maximale en 1 seconde

GOLD : Global initiative for chronic Obstructive Lung Disease

EABPCO : exacerbation aigue de BPCO

PO₂ : pression partielle en oxygène

PCO₂ : pression partielle en dioxyde de carbone

CRF : capacité résiduelle fonctionnelle

CV : capacité vitale

ERS : European Respiratory Society

ATS : American Thoracic Society

EMI : entraînement des muscles inspiratoires

6MWT : test de marche de 6 minutes

Sommaire

I.	INTRODUCTION	1
II.	REVUE DE L'ART	4
II.1.	LA BRONCHO-PNEUMOPATHIE CHRONIQUE OBSTRUCTIVE (BPCO)	4
II.1.1.	Épidémiologie, coûts et facteurs de risque	4
II.1.2.	LE PATIENT EN PHASE STABLE	4
II.2.	LA DYSPNEE	5
II.2.1.	Définition	5
II.2.2.	Mécanismes de contrôle de la respiration [6][7]	5
II.2.3.	Physiopathologie [6][7]	6
II.2.4.	Évaluation de la dyspnée	7
II.3.	LA DISTENSION THORACIQUE	9
II.3.1.	Le mécanisme	9
II.3.2.	La distension statique	9
II.3.3.	La distension dynamique	10
II.4.	LE DIAPHRAGME	11
II.4.1.	Modifications de la mécanique ventilatoire	11
II.4.2.	Modifications intrinsèques : moléculaires et cellulaires	12
II.5.	LA REHABILITATION RESPIRATOIRE	14
II.5.1.	Définition	14
II.5.2.	Synthèse des recommandations	14
III.	METHODOLOGIE DE RECHERCHE	17
III.1.	STRATEGIE DE RECHERCHES	17
III.2.	CRITERES DE SELECTION	18
III.3.	CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION	18
IV.	RESULTATS	20
IV.1.	LES ETUDES VALIDANT L'UTILISATION DE L'EMI CHEZ LES PATIENTS BPCO / AVANTAGES DE L'EMI	20
IV.1.1.	Résultats concernant la fonction des muscles inspiratoires (force et endurance)	20
IV.1.2.	Résultats concernant la fonction pulmonaire	21
IV.1.3.	Résultats concernant la capacité d'exercice	21
IV.1.4.	Résultats concernant la qualité de vie	22
IV.1.5.	Résultats concernant la dyspnée	23
IV.2.	LES ETUDES REFUTANT L'UTILISATION D'UN EMI ASSOCIE A UN PROGRAMME DE REHABILITATION RESPIRATOIRE	24
IV.2.1.	Résultats concernant la fonction des muscles inspiratoires (force et endurance)	24
IV.2.2.	Résultats concernant la fonction pulmonaire	30
IV.2.3.	Résultats concernant la capacité d'exercice	31
IV.2.4.	Résultats concernant la qualité de vie	33
IV.2.5.	Résultats concernant la dyspnée	34
V.	DISCUSSION	37
V.1.	LES LIMITES GLOBALES DES ETUDES	37
V.1.1.	Les années de publication	37
V.1.2.	Le niveau des études	37
V.1.3.	Les échantillons de patients	37
V.1.4.	Les caractéristiques des patients	38
V.1.5.	Le protocole d'intervention	40
V.1.6.	Les paramètres d'évaluation	40
V.2.	CRITIQUE DES ETUDES	41
V.2.1.	Concernant les protocoles d'intervention	41

V.2.1.1.	Modalités d'exécution du protocole	41
V.2.1.2.	Concernant les dispositifs utilisés	41
V.2.1.3.	Concernant les modalités d'entrainement	43
V.2.2.	<i>Concernant les résultats</i>	43
VI.	CONCLUSION	48

I. Introduction

La broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une maladie respiratoire chronique souvent peu connue auprès de la population, même si on estime qu'en France, au moins 3,5 millions de personnes sont concernées par cette pathologie, soit environ 7,5% de la population d'après une enquête réalisée en 2017.

Cette pathologie induit une diminution de la qualité de vie chez ces patients qui voient leur vie quotidienne impactée, certes de différentes manières selon le degré de gravité de la maladie, mais qui n'est pas négligeable même pour les patients les moins graves.

Outre la diminution de la qualité de vie, l'importance de la prise en charge de cette pathologie est nécessaire puisqu'elle est responsable d'un taux de mortalité important, l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) projetant que la BPCO soit la 3^{ème} cause de décès dans le monde en 2030.

Il est donc nécessaire pour nous, professionnels de santé, d'apporter les soins les plus optimaux afin de permettre aux patients de faire face à ces problèmes. C'est pourquoi il est important de s'intéresser aux méthodes de rééducation pouvant permettre d'améliorer la prise en charge des déficiences des patients.

Choix du sujet de mémoire

Dans le cadre de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute, nous devons réaliser un travail de recherche. J'ai décidé de travailler sur un sujet qui me semble être la pierre angulaire de notre profession : améliorer la qualité de vie des patients.

Au cours de notre formation, nous étudions des pathologies appartenant à différentes spécialités auxquelles s'intéresse la kinésithérapie dont le champ musculo-squelettique, cardio-respiratoire, neurologique, pédiatrique et gériatrique. Je me suis intéressée plus particulièrement à la BPCO après avoir étudié cette pathologie lors d'un cours dispensé à l'IFMK (Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie). Les informations apportées par le professeur m'ont fait prendre conscience de l'importance de cette pathologie en termes de prévalence mais aussi en termes d'impact sur la vie des patients qui en souffrent.

Je me suis posée la question du bien-être pour ses patients en me demandant comment il était possible de les accompagner au mieux dans leur prise en charge en leur apportant la meilleure rééducation possible.

La prévalence de la pathologie augmentant au fil des années, la proportion de patients souffrant de BPCO à traiter en kinésithérapie ne fera que croître. Que ce soit en centre de rééducation ou en cabinet libéral, il m'a semblé pertinent de m'intéresser à la rééducation que l'on peut apporter à ces patients et d'étudier une technique de rééducation qui pourrait améliorer notre prise en charge.

Expériences

J'ai eu l'occasion au cours d'un stage réalisé pendant ma formation, de prendre en charge des patients atteints de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO). La plupart de ces patients étaient fumeurs et leur BPCO était souvent une conséquence de ce tabagisme passé ou encore présent. Il existe plusieurs stades dans la maladie avec des phases stables dont les symptômes décrits sont souvent la toux, les expectorations et la dyspnée, mais aussi des phases d'exacerbations où les patients présentent une aggravation des signes cliniques qui peut être traitée à domicile ou pouvant aller jusqu'à la détresse respiratoire qui nécessite une hospitalisation. La majorité des patients pris en charge étaient dans une phase stable et leur rééducation était réalisée à domicile ou au cabinet.

Un des symptômes qui m'a souvent été rapporté par les patients et qui les handicapait le plus au quotidien était la dyspnée : c'est une perception anormale et désagréable de la respiration. C'est une gêne respiratoire subjective dont se plaint le sujet ou qu'un interrogatoire met en avant avec une terminologie variée : essoufflement, souffle court, souffle coupé, oppression, difficulté à respirer... Elle est considérée comme anormale lorsqu'elle survient au repos, dans les activités de la vie quotidienne ou pour un niveau d'activité physique réduit, qui ne provoque normalement pas de difficulté respiratoire. Cette gêne ne peut être perçue que par la personne qui l'expérimente et elle peut avoir plusieurs origines et différentes composantes ce qui rend son traitement complexe.

Mise en place de la problématique

En me renseignant sur le sujet, il m'est apparu que le diaphragme pouvait jouer un rôle dans l'apparition de cette dyspnée. En effet, avec les changements physiologiques que subissent les patients, le diaphragme voit sa structure modifiée notamment au niveau des fibres musculaires ce qui altère son efficacité au long terme provoquant un déséquilibre entre la demande ventilatoire d'une personne au repos ou à l'effort et la capacité de répondre à cette demande puisque le diaphragme n'est plus capable de réaliser les mêmes performances. De plus, une des spécificités des patients atteints de BPCO est l'hyperinflation : leur volume d'éjection maximale en une seconde (VEMS) est réduit, établissant le diagnostic de cette pathologie grâce à la spirométrie. Comme ce volume est réduit et que le volume inspiratoire reste le même, on observe un phénomène de « trapping ». La réduction du VEMS associée à un volume courant inchangé provoquent le trapping à savoir la persistance d'un volume résiduel important qui engendre l'hyperinflation statique et dynamique. Notre diaphragme possède une relation tension/longueur pour être efficace lors de la respiration physiologique, or lorsque le volume de nos poumons augmente et que le rappel élastique des tissus pulmonaires ne peut pas se réaliser correctement, le diaphragme ne peut pas reprendre sa position initiale. Il se retrouve ainsi dans une position plus aplatie, dès lors il ne peut plus être aussi efficace. Son rendement est plus mauvais, il ne peut plus être à l'origine d'une pression inspiratoire suffisante et cela entraîne une augmentation du travail musculaire inspiratoire. Je me suis donc renseignée sur la réhabilitation respiratoire, qui est la prise en charge de référence pour le patient atteint de BPCO.

Selon les différentes recommandations, la réhabilitation respiratoire comprend plusieurs grandes composantes : le travail physique pour initier un réentraînement à l'effort avec un travail global en endurance, du renforcement musculaire au niveau des quatre membres et du travail de l'équilibre. On y trouve aussi de la kinésithérapie respiratoire avec des techniques de désencombrement, de recrutement et une prise en charge des muscles inspiratoires. Cependant, ces catégories sont citées mais aucune précision n'est apportée : le contenu de ces interventions est libre. Le travail global permet de modifier les besoins en oxygène des muscles périphériques en modifiant le métabolisme de ces muscles, ainsi cela diminue la charge ventilatoire nécessaire. La kinésithérapie respiratoire permet aussi de travailler sur les volumes pulmonaires et donc de travailler indirectement sur le diaphragme. Mais si on prend en compte que la dyspnée résulte d'un problème de déséquilibre entre la charge ventilatoire et la capacité à répondre à cette demande, on peut se poser la question de savoir si le problème des patients à générer des pressions inspiratoires suffisantes est résolu ? Ainsi, il pourrait se poser la question d'ajouter au traitement global, une rééducation spécifique du diaphragme pour majorer l'amélioration de la dyspnée en améliorant la capacité à répondre à la charge ventilatoire.

C'est ainsi que je me suis posée la question suivante : « **Associées à un programme de réhabilitation respiratoire, les interventions ciblées du diaphragme permettent-elles une amélioration plus significative de la dyspnée chez un patient BPCO en phase stable ?** »

Plan du mémoire

Dans un premier temps, je vais vous présenter la revue de l'art visant à expliquer la problématique de ce mémoire. Une présentation de la broncho-pneumopathie chronique obstructive grâce à la physiopathologie, l'épidémiologie,

La méthodologie de recherche pour trouver les documents nécessaires à la réalisation de ce mémoire sera expliquée dans la seconde partie.

La description des résultats issus des articles trouvés grâce à la méthodologie seront présentés dans la troisième partie.

Pour finir, la discussion viendra clôturer cette revue de littérature avant de répondre à la problématique dans la conclusion.

II. Revue de l'art

II.1. La Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO)

II.1.1. Épidémiologie, coûts et facteurs de risque

La broncho-pneumopathie chronique obstructive est une maladie chronique encore assez méconnue du grand public, pourtant, l'Organisation Mondiale de la Santé estime qu'à l'heure actuelle, elle représente la 6^{ème} cause de décès dans le monde. Selon ses projections, elle pourrait constituer la 3^{ème} cause de décès en 2030 [1][2].

En France, les données de prévalence de la BPCO dans la population sont assez rares puisque beaucoup de personnes sont atteintes de la maladie sans en être diagnostiquées. Ce problème vient aussi du diagnostic basé sur une épreuve fonctionnelle respiratoire (EFR) qui est difficile à mettre en place pour une enquête épidémiologique.

Une étude française effectuée auprès de la population générale en 2000 indique qu'à l'époque, 1,7 millions de personnes en étaient atteintes. Les données les plus récentes (étude Baromètre Santé de 2017) estime qu'environ 3,5 millions de français souffrent de BPCO soit entre 5 à 10% chez les plus de 45 ans [2]. La maladie est en pleine évolution et touche de plus en plus de personnes chaque année.

Cette étude montre aussi que 18 000 décès par an peuvent être imputés à la BPCO [2][3], qu'elle en soit la cause initiale ou non. 80% des cas de BPCO seraient liés au tabac, qu'il soit actuel ou passé [2][3]. Historiquement, la maladie a été associée aux hommes exclusivement, avec un nombre de cas plus important que chez la femme mais la tendance semble diminuer puisque l'incidence chez les hommes se stabilise mais elle augmente chez les femmes. En 1993, 20% des patients atteints de BPCO étaient des femmes [4]. En 2017, elles représentant 40 à 45% des personnes atteintes [4]. Cela est dû à l'augmentation du tabagisme féminin ces dernières années.
→ chiffre précis

Un autre rapport de la Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques (DREES) en 2017 indique que le nombre annuel d'hospitalisation pour exacerbation aigue se situe entre 100 000 et 160 000 par an [5]. Ces taux d'hospitalisation ont augmenté de 2% chez les hommes et 5% chez les femmes depuis 2000, ce qui en fait une priorité de prise en charge. Les coûts engendrés par la prise en charge des patients BPCO sont aussi très importants : les coûts directs augmentent avec le niveau de sévérité de la maladie. De 7 628€ les patients les moins sévères jusqu'à 20 747€ pour des patients sous oxygénothérapie [5]. Cela en fait une maladie coûteuse et notamment à cause des frais engendrés par les hospitalisations suite à des EABPCO. C'est pourquoi il semble impératif d'éviter les épisodes d'exacerbations, pour le bien du patient mais aussi pour éviter d'engendrer des frais médicaux trop importants.

II.1.2. Le patient en phase stable

La BPCO se manifeste par des signes cliniques non spécifiques : la toux chronique, les expectorations et l'essoufflement (dyspnée). Ils apparaissent de façon progressive et insidieuse tout en s'aggravant dans le temps. Il existe plusieurs degrés de sévérité de la BPCO selon les

critères GOLD (Global initiative for chronic Obstructive Lung Disease). Il est déterminé en fonction de la valeur du VEMS, la sévérité des symptômes et la fréquence des exacerbations. Cela permet de classer les patients selon 4 stades (BPCO légère, modérée, sévère et très sévère). Selon la Haute Autorité de Santé, « la réadaptation respiratoire doit être proposée à tout patient symptomatique » [5]. C'est pourquoi la population prise en compte dans ce mémoire correspondra à l'ensemble des patients stables quel que soit le degré de sévérité de la maladie.

On considère un patient stable lorsqu'il se trouve en dehors de tout épisode d'exacerbation aiguë de BPCO (EABPCO) défini comme un « événement aigu caractérisé par une aggravation des symptômes respiratoires au-delà des variations quotidiennes et conduisant à une modification thérapeutique » [5].

II.2. La dyspnée

II.2.1. Définition

La dyspnée est souvent définie comme une perception anormale et désagréable de la respiration. C'est en réalité un symptôme dont se plaint le patient, on peut donc considérer que c'est une gêne respiratoire subjective. La dyspnée peut être aussi mise en évidence avec une terminologie variée : souffle court, essoufflement, blocage, souffle coupé...

Parshall *et al.* définissent la dyspnée comme « une expérience subjective d'inconfort respiratoire qui consiste en des sensations qualitativement différentes qui varient en intensité » [6]. Ils mettent aussi en évidence que cette sensation de gêne respiratoire est la conséquence de plusieurs facteurs : des facteurs physiologiques, psychologiques, sociaux, environnementaux et peut induire des réponses physiologiques et comportementales. En pratique, la dyspnée ne peut être perçue et définie que par le patient lui-même. Ainsi, même si on peut supposer qu'il en souffre, il faut avoir recours à une auto-évaluation du patient pour en apprécier son importance.

II.2.2. Mécanismes de contrôle de la respiration [6][7]

Comme pour toutes fonctions physiologiques, la respiration est sous la surveillance d'un centre de contrôle pour s'assurer de son bon fonctionnement. Ce bon fonctionnement de la respiration pourrait être défini comme la satisfaction des besoins métaboliques du corps avec l'apport d'oxygène et l'expulsion de dioxyde de carbone nécessaire au bon fonctionnement cellulaire.

Plusieurs récepteurs périphériques entrent en jeu dans la régulation de la respiration : ils envoient des informations vers les centres de commande.

On trouve des chémorécepteurs centraux (situés dans le tronc cérébral) et périphériques (situés dans la bifurcation carotidienne et la crosse de l'aorte). Ces récepteurs renseignent les centres respiratoires sur la pression partielle en oxygène (PO_2) et surtout la pression partielle en dioxyde de carbone (PCO_2) qui est la grandeur régulatrice de la respiration. Cette valeur est contrôlée dans le sang ainsi que dans le liquide céphalo-rachidien. Ainsi, leur rôle est de réguler et maintenir l'homéostasie des gaz sanguins.

Il existe aussi des mécanorécepteurs qui se trouvent en périphérie. On trouve notamment des récepteurs vagues dans les voies respiratoires et le poumon. Les récepteurs à l'étirement, appelés tenciorécepteurs, renseignent la commande centrale automatique sur le volume pulmonaire. Plus le volume des poumons augmente, plus ces récepteurs sont recrutés : ils participent à l'inhibition de l'activité inspiratoire et faciliter la transition inspiration/expiration. D'autres tenciorécepteurs, sensibles à la distension pulmonaire, inhibent l'expiration.

Il existe aussi des récepteurs sensibles aux irritants qui font partie des mécanismes de défense du poumon en provoquant la toux, une bronchoconstriction ou une respiration rapide et superficielle pour éviter que l'agent irritant pénètre plus profondément dans l'arbre bronchique. Les muscles qui entrent en jeu dans la ventilation et donc dans la respiration possèdent aussi des mécanorécepteurs. Les muscles intercostaux possèdent beaucoup de fuseaux musculaires et d'organe tendineux de Golgi dont l'activité est proportionnelle à leur étirement. Le diaphragme possède majoritairement des organes tendineux de Golgi mais peu de fuseaux neuromusculaires. Ils renseignent sur la tension musculaire et peuvent entraîner un rétrocontrôle inhibiteur sur l'activité respiratoire centrale.

Les informations provenant de ces récepteurs périphériques permettent de fournir aux neurones moteurs et pré-moteurs des informations concernant l'état mécanique de la pompe ventilatoire pour ajuster l'activité motrice respiratoire. De plus, il semble qu'il y ait un système de vérification pour s'assurer au bon déroulement de la fonction respiratoire. C'est ce qu'on appelle une décharge corollaire : une copie de l'information émise par les centres respiratoires moteurs est projetée sur le cortex somesthésique pour comparer les deux informations.

II.2.3. Physiopathologie [6][7]

La dyspnée résulte d'un déséquilibre entre la commande motrice respiratoire centrale (issue du tronc cérébral) et la capacité du patient à répondre à cette demande. Cette capacité du patient à répondre aux ordres moteurs est renseignée par les informations envoyées par les récepteurs cités auparavant. Ils permettent de savoir si la réponse mécanique en termes de débit et de volume d'air est pertinente en fonction de la demande. Ainsi, s'il existe une dissociation entre la demande et la réponse, le patient aura une sensation d'inconfort respiratoire puisque le cerveau interprétera cette différence comme un problème.

La demande ventilatoire correspond à l'ordre mécanique imposé par le centre de contrôle de la respiration afin d'assurer la ventilation alvéolaire, c'est-à-dire avoir un apport en oxygène suffisant pour le fonctionnement cellulaire et garantir l'élimination du dioxyde de carbone. Nous avons vu auparavant que le système de contrôle de la respiration comportait des chémorécepteurs sensibles à l'oxygène mais surtout au dioxyde de carbone, par conséquent, une hypoxémie ou une hypercapnie vont être à l'origine de régulation de la commande ventilatoire.

Les patients atteints de maladie cardio-respiratoires, et notamment de BPCO, sont souvent déconditionnés en raison d'une inactivité prolongée. Cependant le conditionnement physique est déterminant dans la capacité d'exercice et cela entraîne une réponse physiologique modifiée. Elle se traduit par une utilisation plus précoce de la voie anaérobie ce qui induit une augmentation précoce et accélérée de lactate dans le sang. Il est ensuite tamponné par les ions bicarbonates pour

libérer du CO₂ qui va stimuler les récepteurs et envoyer l'information aux centres de contrôle de la respiration pour induire une hyperventilation et donc une augmentation de la dyspnée.

Certains patients souffrent aussi de fatigue musculaire, concernant notamment les muscles inspiratoires. Une faiblesse ou une inactivité mécanique (déconditionnement) entraîne une inadéquation entre le rendement moteur et la ventilation obtenue : c'est-à-dire que les pressions générées par les muscles inspireurs ne sont plus suffisantes pour créer une ventilation adéquate. Plus le rapport entre les pressions générées et la pression maximale pouvant être atteinte augmente, plus le phénomène de dyspnée s'aggrave.

II.2.4. Évaluation de la dyspnée

Les progressions dans les connaissances des mécanismes de la dyspnée ont permis de mettre en avant la nécessité d'une évaluation multidimensionnelle de la dyspnée [8] :

- Sensoriel (qualitatif et quantitatif) : l'effort pour respirer, la sensation de compression du thorax ou encore la soif d'air
- Affective : la notion d'inconfort, la peur, la détresse, l'anxiété...
- L'impact engendré notamment sur la qualité de vie mais aussi les activités de la vie quotidienne

Le kinésithérapeute a une place majeure au sein de la prise en charge de patients dyspnéiques et pour cela, il faut pouvoir l'évaluer pour comprendre au mieux les causes, les mécanismes et ainsi proposer un traitement le plus efficace possible [8]. Cette évaluation est aussi un marqueur d'efficacité du traitement mais il permet aussi d'adapter le programme en fonction des besoins et des capacités du patient [9]. En réalité, la principale difficulté de l'évaluation est de traduire une sensation subjective en un paramètre mesurable [9], surtout lorsque seul le patient est capable de la définir. De nombreux outils permettent actuellement d'évaluer la dyspnée : ce sont des outils multidimensionnels pour permettre de rendre compte des différents aspects de la dyspnée et ses impacts sur la qualité de vie des patients. Les outils cités ensuite ne sont qu'une sélection des nombreux outils disponibles.

Qualité de vie et impact sur les AVQ

L'échelle MMRC (*Modified Medical Research Council*) [Annexe 1] permet d'évaluer cette composante : c'est une échelle descriptive mais elle ne permet pas d'évaluer les effets d'un traitement sur la dyspnée [8][9].

De la même manière, l'échelle LCADL (*London Chest Activity of Daily Living*) [Annexe 2] évalue la capacité des patients à réaliser leurs AVQ (dont la toilette, l'habillement, les activités ménagères, les activités physiques, de loisir et la parole) par l'intensité de la dyspnée perçue pendant l'exécution des activités [8][9]. Elle est validée pour les patients BPCO sévère [7] et sensible aux effets d'un programme de réhabilitation respiratoire [8][9]. Elle prend en compte le fait que les patients ne réalisent pas forcément toutes les activités donc on obtient une représentation fidèle de l'impact de la dyspnée.

D'autres questionnaires sont aussi utilisés, comme le BDI-TDI, le *Shortness Of Breath Questionnaire*, *Breathlessness, Cough and Sputum Scale*, *Pulmonary Function Status and*

Dyspnea Questionnaire. La plupart ne sont pas validés en langue française et ils sont peu utilisés en pratique clinique courante.

Des questionnaires de qualité de vie sont aussi utilisés en complément d'échelle d'évaluation : on retrouve notamment le *Chronic Respiratory Disease (CRQ)* [Annexe 3] ou le questionnaire Saint George (SGRQ) [Annexe 4].

Composantes sensorielles et affectives de la dyspnée

Le questionnaire Dyspnea-12 est validé dans de nombreuses pathologies respiratoires et il permet d'évaluer les aspects physiques et affectif de la dyspnée dans la vie quotidienne.

Le questionnaire MDP (*Multidimensional Dyspnea Profile*) [Annexe 5] permet d'évaluer les conséquences physiques et affectives dans une situation clinique donnée. Il est sensible à une modification clinique ce qui permet de suivre l'évolution de la dyspnée. Il permet aussi d'évaluer la dyspnée au repos mais aussi à l'effort ce qui permet d'en avoir une meilleure représentation. Ce sont donc deux échelles complémentaires puisqu'elles n'évaluent pas la dyspnée dans les mêmes situations.

L'EVA (échelle visuelle analogique) est aussi utilisée : c'est une échelle qui évalue de façon unidimensionnelle l'intensité de la dyspnée telle qu'elle est ressentie par le patient [8]. C'est une ligne avec à ses extrémités des indications sémantiques (descripteurs verbaux) [8] : l'un représente une absence de perception de la dyspnée et l'autre l'intensité maximale de la sensation de dyspnée. [9] Cependant, on mesure la perception du patient donc on doit s'assurer de la signification de ces descripteurs pour le patient. Il faut aussi que le patient puisse mettre un mot sur ses sensations et requiert donc une capacité de réflexion qui n'est pas forcément présente chez des sujets âgés par exemple [9].

L'échelle de Borg modifiée est une échelle catégorielle [8]. De la même manière, elle permet d'évaluer l'intensité de la dyspnée en proposant des indicateurs qui doivent être définis avec le patient avant l'évaluation.

L'évaluation doit comprendre ces trois dimensions mais il n'existe pas à l'heure actuelle d'outils qui permette cela. Il est donc nécessaire d'associer des outils évaluant les composantes sensorielles et affectives, avec des outils évaluant l'impact sur la qualité de vie et les activités de la vie quotidienne. Il semble aussi important de déterminer quelle composante de la dyspnée doit être évaluée pour mettre en place le meilleur traitement possible. De plus, pour pouvoir utiliser les données, elles doivent être mesurables et reproductibles pour obtenir une évaluation initiale et son évolution dans le temps.

A l'heure actuelle, l'échelle MMRC et l'échelle de Borg modifiée sont les plus couramment utilisées en pratique clinique. Elles sont souvent associées à un questionnaire de qualité de vie [8].

Une synthèse de cette partie est disponible en Annexe 6.

II.3. La distension thoracique

II.3.1. Le mécanisme

Un signe clinique qu'on retrouve très souvent chez les patients atteints de BPCO est la distension thoracique. Cette distension est intimement liée aux volumes pulmonaires : ceux-ci sont aussi la conséquence des propriétés intrinsèques du poumon (élasticité), de la cage thoracique (compliance) mais aussi des différentes composantes de la respiration physiologique (fréquence respiratoire, demandes physiologiques...).

Les propriétés élastiques du poumon peuvent être simplifiées en considérant que le poumon est un ressort tendu de part et d'autre de la cage thoracique. Ainsi, plus le poumon est élastique, plus la force de rétraction élastique aura tendance à diminuer le volume de l'ensemble poumon/cage thoracique lorsque le poumon revient à sa position de départ après une expiration (volume de relaxation). Chez un sujet sain, lorsque les muscles respiratoires sont relâchés et que le temps laissé à l'ensemble poumons/cage thoracique pour atteindre son point d'équilibre est suffisant, le volume de relaxation est égal à la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF).

Chez un sujet atteint de BPCO, la CRF peut être supérieure au volume de relaxation. Ceci s'explique par les lésions anatomiques caractéristiques de la BPCO [10] :

- Épaississement de la paroi bronchique proportionnel à la sévérité de la BPCO
- Fibrose des parois bronchiques
- Hypertrophie des muscles lisses bronchiques
- Augmentation des cellules muco-sécrétantes qui conduisent à une obstruction de la lumière bronchique
- Infiltrat inflammatoire au niveau de toute la paroi bronchique

Ces lésions sont caractéristiques de lésions d'emphysème, c'est-à-dire que le poumon perd sa capacité de rétraction par destruction des parois alvéolaires et perte des attaches alvéolaires des petites voies aériennes [10]. Elles concourent donc à la perte de la capacité élastique du poumon et notamment des bronches et des bronchioles où siègent majoritairement ces lésions. La présence de mucus abondant est aussi responsable d'une résistance à l'écoulement des gaz pulmonaires lors de l'expiration.

II.3.2. La distension statique

La distension statique est définie comme « un volume télé-inspiratoire supérieur à sa valeur prédite mais qui correspond à l'équilibre des forces élastiques régnant dans le thorax, c'est-à-dire au volume dit « de relaxation ». La pression alvéolaire à la fin de l'expiration est égale à la pression atmosphérique ». Ainsi, le volume de relaxation chez un patient atteint de BPCO est supérieur au volume de relaxation chez un patient sain, qui correspond la plupart du temps à la CRF. Comme le volume d'air restant dans les poumons à la fin de l'expiration est supérieur à celui chez un patient sain, la pression alvéolaire qui en résulte est supérieure.

Les lésions anatomopathologiques sont responsables d'une destruction des tissus élastiques ce qui conduit à une diminution de la force de rétraction élastique du poumon : le point d'équilibre des

forces de rétraction du poumon et de la cage thoracique correspond à un volume de relaxation plus important.

II.3.3. La distension dynamique

Lors d'un effort, la ventilation d'un sujet sain va être augmentée pour répondre aux besoins physiologiques. Cette augmentation peut être réalisée par l'augmentation du volume courant (V_T) et de la fréquence respiratoire (FR).

La BPCO est définie par une diminution du rapport VEMS/CV à cause d'une limitation des débits aériens. La courbe débit-volume d'un patient BPCO présente un profil brisé caractéristique d'une chute importante des débits à 50% et à 25% de la capacité vitale (CV). Les lésions anatomopathologiques de la BPCO entraînent un trouble ventilatoire obstructif qui conduit à une augmentation de la résistance à l'expiration mais aussi à une compliance pulmonaire plus élevée du fait de la perte de la force de rétraction élastique du poumon.

Chez un sujet sain, le débit expiratoire lors de la ventilation au repos, donc pour une ventilation au volume courant, est nettement inférieur au débit expiratoire lors d'une manœuvre d'expiration forcée [12]. Une augmentation du débit expiratoire est donc nécessaire à l'augmentation de la ventilation sans modifier le niveau de volumes pulmonaires. Chez un sujet atteint de BPCO, le débit expiratoire est limité puisqu'il atteint au repos la valeur théorique lors d'une expiration forcée. Pour pouvoir contrebalancer ce phénomène et augmenter la ventilation, il faut que le patient se déplace vers les hauts volumes pulmonaires. Cela permettra d'augmenter la force de rétraction élastique du poumon pour engendrer une force supplémentaire afin que le débit augmente et donc que la ventilation augmente.

Cette diminution notable du débit expiratoire à cause de l'obstruction bronchique est aussi responsable d'une augmentation du temps expiratoire nécessaire à la vidange pulmonaire. Lorsqu'on fournit un effort, la ventilation peut être amplifiée par l'intermédiaire du volume courant ou de la fréquence respiratoire. Si cette fréquence respiratoire est augmentée, le temps expiratoire se retrouve lui diminué. Le temps de vidange du poumon est encore plus limité alors qu'un patient a besoin de plus de temps dû à la limitation du débit expiratoire ce qui entraîne donc un effet de « trapping ». Le temps expiratoire étant insuffisant pour une vidange complète, on observe une augmentation progressive du volume télé-expiratoire après chaque cycle respiratoire. Ce phénomène contribue à la distension dynamique qui s'accroît [10][12].

Chez un patient atteint de BPCO, on peut retrouver une distension statique ou dynamique, les phénomènes étant parfois présents ensembles. Cela va donc engendrer des conséquences sur la mécanique ventilatoire et sur la physiologie respiratoire.

II.4. Le diaphragme

II.4.1. Modifications de la mécanique ventilatoire

Le phénomène de distension statique et/dynamique entraîne des conséquences sur la mécanique ventilatoire, notamment au niveau du diaphragme. En effet, l'augmentation des volumes présents au repos (CRF) dans les poumons entraîne une déformation, une modification de la géométrie de la cage thoracique avec un élargissement de ses diamètres transversal et antéro-postérieur. Le diaphragme est contigu à la cage thoracique inférieure de par ses insertions sur les six dernières paires de côtes et sa conformation en dômes ou coupoles diaphragmatiques lui confère une efficacité mécanique pour développer des pressions inspiratoires suffisantes. Lorsque la cage thoracique s'élargit, ses coupoles diaphragmatiques s'abaissent et s'aplatissent en suivant le mouvement des côtes. On observe donc un raccourcissement des fibres du diaphragme allant jusqu'à 27% de sa longueur maximale [13]. Selon la loi de Laplace selon laquelle la pression générée par un muscle est inversement proportionnelle à son rayon de courbure $P = \frac{2T}{r}$ [14], dans une conformation spatiale telle que celle-ci, le diaphragme génère moins de force. Dans la courbe tension/longueur, le diaphragme est déplacé de sa longueur optimale pour générer des pressions suffisantes et obtenir une ventilation efficace [15][16]. Il se retrouve donc en situation d'insuffisance fonctionnelle en termes de générateur de pression.

En effet, les muscles inspiratoires et notamment le diaphragme qui est le principal muscle inspiratoire au repos, doivent générer une force et donc une pression telle que la cage thoracique inférieure (au niveau de ses insertions costales) s'élargisse. Associé aux propriétés élastiques du poumon, cet élargissement induit une pression pleurale négative qui sera transmise à la région alvéolaire afin d'obtenir une pression alvéolaire négative (ou inférieure) à la pression atmosphérique [15]. Ce différentiel de pression entraîne donc un flux d'air à l'intérieur du poumon. Si les besoins ventilatoires augmentent (exercice physique, maladies respiratoires...), les muscles inspiratoires accessoires pourront participer progressivement à l'effort inspiratoire.

L'augmentation de la CRF chez un patient BPCO entraîne donc une augmentation de la pression alvéolaire présente au sein du poumon en fin d'expiration et au début de l'inspiration suivante. Le diaphragme, dans son rôle de générateur de pression, va devoir développer une pression inspiratoire supérieure à celle d'un sujet sain pour vaincre cette pression alvéolaire plus importante à chaque début d'inspiration [13]. Or, nous venons de voir que l'hyperinflation statique entraîne un raccourcissement des fibres du diaphragme qui induit à son tour une diminution de la pression inspiratoire développée : on observe alors une inadéquation entre les besoins du système respiratoire et la capacité fonctionnelle des muscles inspiratoires. Comme décrit auparavant, cela entraînera une mauvaise perception de la ventilation au niveau des centres respiratoires et potentiellement une sensation de dyspnée. De plus, cette charge mécanique supplémentaire au début de chaque inspiration est accrue à cause de la limitation des débits aériens créée par l'obstruction bronchique. Ainsi, les forces développées sont réduites ce qui témoigne par définition d'une faiblesse musculaire [15] : lors d'un effort à leur propre CRF, le diaphragme des patients atteints de BPCO développe moins de force que celui des sujets sains.

II.4.2. Modifications intrinsèques : moléculaires et cellulaires

La physiopathologie de la BPCO implique la présence d'une inflammation au sein des poumons. Même si l'on pensait auparavant que cette inflammation se propageait des poumons au reste de l'organisme, cette théorie semble être aujourd'hui désuète [15]. Des manifestations inflammatoires extra-pulmonaires peuvent avoir lieu en parallèle de l'inflammation présente dans les poumons. Cela a plusieurs conséquences dont une augmentation des globules blancs [15], du taux de protéine C inflammatoire [15] et des cytokines circulantes [15][17]. Ces niveaux élevés de cytokines circulantes vont alors provoquer des lésions musculaires, une altération des protéines contractiles et une stimulation de la voie ubiquitine-protéasome [17].

La voie ubiquitine-protéasome est une voie protéolytique. Elle entraîne, par une cascade de réactions, une dégradation de la myosine [15][17]. Ce phénomène explique pourquoi il existe une diminution de 30% de la teneur en chaîne lourde de myosine dans les fibres musculaires du diaphragme d'un patient atteint de BPCO [14][17]. Cette dégradation a donc une conséquence sur la force que génère le diaphragme puisqu'elle est liée au nombre de ponts actine/myosine présents au sein des fibres musculaires [14]. Le dysfonctionnement des fibres musculaires peut engendrer 35% de force générée en moins chez les patients les plus sévères et jusqu'à 25% chez les patients atteints de BPCO légère à modérée [17]. Ce phénomène participe à l'étape initiale de l'atrophie des fibres musculaires du diaphragme.

Des lésions musculaires ont aussi été retrouvées au niveau du diaphragme chez des patients atteints de BPCO [15][16][17]. Elles peuvent être le résultat de l'augmentation de la charge inspiratoire (lésions sarcomériques) [17] ou de processus intrinsèques pathologiques comme l'inflammation locale [17] ou le stress oxydatif [15][16][17].

Un stress oxydatif a été aussi observé [15][16][17]. Des radicaux libres issus du métabolisme aérobie sont naturellement présents dans les tissus humains et les muscles mais ils posent problème lorsque les systèmes antioxydants qui sont censés les dégrader ne sont plus capables de réaliser cette étape [17]. Les conséquences sont variées : modifications de certaines molécules et lésions tissulaires. De plus, ce stress oxydatif est intimement lié à l'inflammation vue auparavant. Il peut être le signal pour l'expression de médiateurs inflammatoires et l'inflammation peut moduler le niveau de production de radicaux libres [17]. Par conséquent, les deux phénomènes s'entremêlent et peuvent induire une réponse immunitaire anormale avec un prolongement anormal de l'inflammation. Ce stress oxydatif est retrouvé dans le sang, les muscles et les poumons de patients atteints de BPCO stable [17]. Même si la relation n'est pas encore totalement élucidée, il y aurait une relation entre le stress oxydatif et le dysfonctionnement musculaire par une altération des fonctions musculaires.

Les anomalies d'échanges gazeux (hypoxie, hypercapnie) ont des effets délétères sur le diaphragme [15][16]. Ces anomalies sont répercutées au niveau tissulaire avec notamment une hypoxémie musculaire qui est une réduction de l'apport d'oxygène au muscle. Les conséquences sont multiples : inflammation systémique, stress oxydatif, déséquilibre protéique, apoptose et

altération de la régénération musculaire [15]. Ces phénomènes concourent tous à une perte de la masse musculaire car l'hypoxie cible des éléments impliqués dans les capacités oxydatives et entraîne donc une perte de la masse musculaire. Par conséquent, une diminution de la force et de l'endurance est observée.

Pour finir, une dernière conséquence négative concerne la titine [17]. C'est une protéine présente dans la fibre musculaire et qui a pour rôle de maintenir la stabilité de la structure actine/myosine. La BPCO engendre une augmentation de l'expression des exons codants pour les éléments élastiques de la titine : elle perd sa rigidité nécessaire au maintien de la stabilité des filaments. La distance moyenne entre actine et myosine augmente, les filaments de myosine ne sont pas correctement alignés ce qui rend encore plus difficile leur liaison et donc une contraction efficace. De plus, comme la titine ne peut plus effectuer son rôle de stabilisateur de l'appareil contractile, la contraction entraînera un étirement maximal de la fibre qui peut contribuer à des lésions sarcomériques en plus du mauvais fonctionnement.

L'hyperinflation et la modification de la conformation spatiale du diaphragme entraînent une diminution de la longueur des fibres musculaires du au raccourcissement, entraînent une perte d'un pourcentage de sarcomères [14][15][16]. Cette modification permet alors de contrebalancer les effets négatifs du déplacement sur la courbe tension/longueur : la pression inspiratoire est plus efficace/améliorée grâce à ce changement.

Le diaphragme subit aussi une adaptation cellulaire et moléculaire à la surcharge mécanique engendrée par l'obstruction bronchique et l'hyperinflation. Le diaphragme sain est majoritairement composé de myofibres de type IIa (contraction rapide, peu résistance à la fatigue) mais il est observé que chez le patient atteint de BPCO, la proportion de fibres de type I oxydatives, à contraction lente et résistante à la fatigue augmente et la proportion de fibres IIa diminue [14][15][16][17]. Les capacités aérobies du diaphragme sont donc améliorées et lui permettant d'être plus résistant à la fatigue. C'est une notion importante puisque les muscles plus faibles, comme le diaphragme dans le cas d'un patient atteint de BPCO, sont sujets plus rapidement à la fatigue [16]. Cette modification est visible chez les patients atteints de BPCO peu importe le degré de sévérité même si l'augmentation de la proportion en fibres de type I est moins évidentes chez les patients BPCO modérée [17].

Une autre conséquence positive se retrouve dans le « training-like effect » [15][16]. Les charges inspiratoires sont augmentées chez un patient BPCO ce qui induit les prémices d'un renforcement musculaire. Les améliorations sont nombreuses : diminution de la longueur des sarcomères, augmentation de la proportion en chaîne lourde de myosine [15], de fibres de type I [15], des contacts capillaires au sein du muscle [14][15] et de la densité mitochondriale [14][15][16]. Ces modifications positives pour le diaphragme ne suffisant cependant pas à compenser les effets délétères des différents facteurs cités précédemment. Même si les capacités aérobies sont améliorées, le déficit de force du diaphragme est encore trop important par rapport aux besoins ventilatoires du patient.

Différents phénomènes influent sur la structure et la fonction du diaphragme et même si certains mécanismes d'adaptation compensent dans une certaine mesure les phénomènes délétères, il en résulte une dysfonction musculaire importante et néfaste pour le patient. La dysfonction

musculaire est définie comme la perte d'au moins une des deux principales propriétés musculaires : la force et l'endurance [15].

II.5. La réhabilitation respiratoire

II.5.1. Définition

La réhabilitation respiratoire a été définie par l'European Respiratory Society (ERS) et l'ATS (American Thoracic Society) comme « une intervention globale et individualisée, reposant sur une évaluation approfondie du patient, incluant, sans y être limitée, le réentraînement à l'effort, l'éducation, les changements de comportement visant à améliorer la santé globale, physique et psychologique des personnes atteintes de maladie respiratoire chronique et à promouvoir leur adhésion à long terme à des comportements adaptés à leur état de santé » [18].

La réhabilitation respiratoire est reconnue depuis plusieurs années comme étant bénéfique pour les patients atteints de BPCO. Selon les recommandations GOLD de 2020 [19], elle améliore la dyspnée, l'état de santé et la résistance à l'effort chez les patients stables (preuve de niveau A). Elle permet aussi de diminuer les fréquences d'hospitalisation des patients ayant eu une exacerbation récente (preuve de niveau B). A l'heure actuelle, les patients inclus dans ces programmes ne se limitent plus aux patients les plus sévères mais à tout patient qui présente une limitation [19]. Toute incapacité ou handicap respiratoire, **d'une dyspnée ou d'une intolérance à l'exercice** justifie l'inclusion dans un programme de réhabilitation respiratoire.

II.5.2. Synthèse des recommandations

Les différents programmes proposés peuvent varier en termes de durée, de nombres de séances, parfois de contenu ou bien même du lieu de réalisation. Il résulte tout de même des recommandations françaises ou internationales, des composantes indispensables pour délivrer une réhabilitation respiratoire de qualité.

Travail cardio-respiratoire

Il est communément appelé travail d'endurance dans les programmes de réhabilitation respiratoire [5][18][19][20]. Il peut être réalisé sur vélo, cycloergomètre ou bien grâce à la marche [5].

Renforcement musculaire

L'entraînement en force doit être inclut dans tout programme de réhabilitation respiratoire. Les protocoles décrivent majoritairement un renforcement global des quatre membres [5][18][19][20].

Éducation thérapeutique du patient

La BPCO est une maladie chronique donc le patient doit être acteur de sa rééducation afin d'obtenir les meilleurs résultats [5][18][19][20]. Le but pour le patient est de pouvoir acquérir des connaissances qui lui permettront au long terme [5] :

- De gérer sa maladie, le stress, l'anxiété

- De réaliser lui-même certains gestes liés aux soins
- De prévenir les complications évitables

Soutien psychologique [5][19][20]

Suivi nutritionnel [5][19][20]

Aide au sevrage tabagique [5][19][20]

Kinésithérapie respiratoire

C'est un vaste champ de la prise en charge des patients BPCO. Elle peut consister en des techniques de drainage bronchique manuelles et/ou instrumentales [5][21], des mobilisations thoraciques [5] ou du renforcement des muscles respiratoires. C'est sur ce point que les recommandations sont divergentes.

La Haute Autorité de Santé (HAS) indique dans son programme complet de réadaptation respiratoire, que le renforcement des muscles respiratoires peut être envisagé « selon besoin » [4]. Le renforcement mentionné ici concerne les muscles respiratoires en général, donc il n'est pas précisé si cela concerne les muscles inspiratoires ou expiratoires. De plus, l'indication « selon besoin » est très vague : on ne dispose pas de critères spécifiques pour savoir à quelle population de patients cette technique s'adresse. Aucune indication concernant le programme n'apparaît même si les programmes de réhabilitation respiratoire sont individualisés en fonction du patient que l'on prend en charge.

De la même manière, les recommandations pour la pratique clinique de la prise en charge de la BPCO par la Société de Pneumologie de Langue Française (SPLF), il est mentionné que « Dans un stage de réentraînement musculaire, il est recommandé d'inclure un réentraînement des muscles respiratoires inspiratoires chez les patients présentant une diminution objective de la force des muscles respiratoires (G1+). » [20]. Aucune valeur quantifiant la diminution objective de la force des muscles respiratoires n'est mentionnée, ce qui rend la décision d'utiliser cette technique difficile à prendre. Si la décision était prise d'inclure cette technique dans le programme, aucun programme précis n'est délivré dans ces recommandations.

On retrouve ce problème dans un article du Groupe de Travail en Kinésithérapie répondant aux recommandations de la SPLF citées auparavant. Il est ainsi noté que « le travail des muscles inspireurs est recommandé et efficace en cas de déficience mesurée » [21]. Cependant, un programme est proposé selon une seule étude menée par Delguste. La valeur seuil de 30% de la PI_{max} théorique est proposée comme valeur de travail mais le manque de précision des indications dans la littérature est mentionné. Cette valeur est reprise dans les recommandations de la SPLF mais son niveau de preuve n'est pas maximal (G2+).

Les recommandations GOLD [19] indiquent l'utilisation possible du renforcement des muscles inspiratoires sans toutefois en donner les critères d'éligibilité à cette technique, ni un protocole précis.

Il faut tout de même noter qu'un seul protocole a été décrit dans les recommandations étudiées dans ce travail [21]. Les auteurs indiquent que les modalités sont « relativement bien codifiées ». Un patient stable, doit utiliser un Threshold ® IMT inspiratoire pour obtenir une pression constante et quantifiée, pendant un minimum de 4 semaines à raison de 2 à 3 séances par semaine. Les séances doivent idéalement durer 20 à 30 minutes.

Les recommandations de l'American Thoracic Society (ATS) et de l'European Respiratory Society (ERS) rentrent en contradiction avec ce qui a été décrit auparavant. Elles indiquent qu'il est difficile de détecter une amélioration supplémentaire à la réhabilitation respiratoire engendrée par le renforcement des muscles inspiratoires [18]. Le renforcement utilisé seul apporte lui des avantages dans plusieurs domaines. Il est mentionné qu'il est « possible que l'entraînement des muscles inspiratoires en tant que complément à l'entraînement physique du corps puisse être bénéfique aux personnes [...] présentant une faiblesse musculaire inspiratoire marquée ». Ainsi, les bénéfices de l'utilisation de cette technique en complément de la réhabilitation sont discutables.

La British Thoracic Society indique dans ses recommandations [22] que « l'entraînement des muscles inspiratoires (IMT) n'est pas recommandé comme complément de routine à la réadaptation pulmonaire ». Cette recommandation est déduite de l'analyse d'études qui ont montré que l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires ne semblent pas avoir d'effets bénéfiques supplémentaires à un entraînement général par exercice chez les patients atteints de BPCO.

Les avis quant à l'utilisation de cette technique sont divergents, allant de recommandations parlant d'une technique efficace à des recommandations soulignant ses effets discutables associées à la réhabilitation respiratoire.

Concernant le traitement des muscles respiratoires et notamment inspiratoires, seul leur entraînement est mentionné dans les recommandations. Aucune autre technique n'est mentionnée ce qui laisse réfléchir quant à l'existence d'autres pratiques qui n'ont peut-être pas encore été incluses dans les programmes.

III. Méthodologie de recherche

III.1. Stratégie de recherches

La recherche a commencé par le référencement des mots-clés. Les mots-clés suivants ont été extraits de la problématique précédemment exposée. Chaque mot clé a été traduit en langue anglaise grâce au site MeSh :

- Diaphragme / diaphragm
- Réhabilitation pulmonaire / pulmonary rehabilitation
- BPCO / COPD
- Dyspnée / dyspnea

Il a été décidé d'ajouter aux variables précédentes, un synonyme anglais de diaphragme très souvent utilisés dans les articles parlant de ce sujet : **muscle inspiratoire** / inspiratory muscle. Ce mot clé a pour but d'obtenir un plus grand nombre d'article en lien direct avec la problématique. A la lecture de plusieurs articles sur le sujet, le terme **muscles respiratoires** / respiratory muscles est aussi utilisé dans les études traitant des muscles inspiratoires.

Grâce à ces mots-clés, cinq équations de recherche les plus cohérentes ont été formées :

- 1) ((inspiratory muscle[Title/Abstract]) AND (pulmonary rehabilitation[Title/Abstract])) AND (chronic obstructive pulmonary disease[Title/Abstract])
- 2) ((inspiratory muscle training[Title/Abstract]) AND (dyspnea[Title/Abstract])) AND (COPD[Title/Abstract])
- 3) ("inspiratory muscle training"[Title/Abstract]) AND (COPD[Title/Abstract])
- 4) ((respiratory muscle training[Title/Abstract]) AND (pulmonary rehabilitation[Title/Abstract])) AND (COPD[Title/Abstract])
- 5) ((diaphragm[Title/Abstract]) AND (chronic obstructive pulmonary disease[Title/Abstract])) AND (pulmonary rehabilitation[Title/Abstract])

Ces équations de recherche ont été introduites dans les bases de données suivantes :

- Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>)
- Cochrane (<https://www.cochranelibrary.com/advanced-search>)
- PeDro (<https://pedro.org.au>)

Ces moteurs de recherche ont été choisis d'une part grâce à leur facilité d'utilisation, les ayant déjà utilisés auparavant pour d'autres travaux de recherche mais aussi grâce à l'accessibilité des documents qui y sont recensés. J'ai décidé de ne pas utiliser de bases de données françaises pour obtenir le plus d'articles possibles, ceux-ci étant souvent transcrits en anglais, qui est la langue universelle concernant les études scientifiques.

J'ai choisi de cibler les recherches de mot-clés dans le titre et l'abstract dans le moteur de recherche PubMed ainsi que dans le titre, l'abstract et les mot-clés dans le moteur de recherche Cochrane.

Grâce aux quatre équations rentrées dans les différents moteurs de recherche, 1 298 occurrences ont été trouvées.

III.2. Critères de sélection

Le nombre d'occurrences obtenues étant conséquent, il a fallu affiner le nombre de résultat en appliquant des critères de sélection cohérent avec la problématique étudiée.

C'est pourquoi j'ai choisi les critères d'inclusion suivants :

- La date limite de parution des articles a été déterminée à 2010. Même si les dernières recommandations de la HAS concernant la BPCO datent de 2020, il ne m'a pas semblé cohérent de me limiter aux articles parus cette année car je n'aurai pas eu assez de matière pour répondre à ma problématique. Une période de 10 ans me semble logique afin d'obtenir le plus de résultat possible, de pouvoir avoir une vue d'ensemble assez complète des études qui ont été menées sur le sujet et d'être pertinent au niveau scientifique
- La présence des mots-clés dans le titre et/ou dans les mots-clés pour m'assurer que les articles et études trouvés portaient bien sur mon thème
- Seuls les articles en anglais ont été choisis pour permettre une lecture complète et une interprétation fiable.
-

Grâce à ce premier tri, 812 occurrences ont été obtenues.

III.3. Critères d'inclusion et d'exclusion

Parmi ces occurrences, il a fallu déterminer lesquelles étaient les plus pertinentes par rapport à la problématique. Pour cela, les articles devaient respecter plusieurs critères. J'ai donc choisi les critères d'exclusion suivants :

- Seuls les articles dont la population cible était atteinte de BPCO, quel que soit le stade, ont été inclus.
- Les patients inclus dans les études devaient se trouver dans une phase stable sinon l'article était exclu de la méthodologie de recherche.
- Les articles décrivant des populations en phase d'exacerbation de BPCO (EABPCO) ont été exclus, même si certaines techniques peuvent être effectuées tant à l'état stable qu'en exacerbation
- Les articles traitant du renforcement des muscles inspiratoires et expiratoires ont été exclus, cette revue de littérature ne traitant que l'entraînement des muscles inspiratoires.

Ces premiers critères d'inclusion m'ont permis de faire un tri des occurrences mais le principal critère était que les articles étudiant les techniques visant le diaphragme ont été inclus seulement si celles-ci étaient inclus dans un protocole de réhabilitation respiratoire.

Après élimination des doublons, 19 articles ont été inclus dans cette revue de littérature. Un exemple de synthèse des résultats des études est disponible en Annexe 7.

IV. Résultats

IV.1. Les études validant l'utilisation de l'EMI chez les patients BPCO / avantages de l'EMI

Plusieurs études étudiant les effets d'un EMI associé à un programme de réhabilitation respiratoire, ont déclaré que l'ajout de cette technique était bénéfique à un programme de réhabilitation respiratoire standard.

IV.1.1. Résultats concernant la fonction des muscles inspiratoires (force et endurance)

Une étude menée par Croitoru *et al.* en 2013 [23] a tenté d'évaluer les effets de l'EMI associé à un entraînement général à l'exercice chez des patients atteints de BPCO. 28 patients atteints de BPCO modérée à sévère ont été répartis au hasard entre deux groupes.

Le groupe témoin a reçu un programme de réhabilitation pulmonaire de 8 semaines en ambulatoire comprenant un entraînement des membres inférieurs et des membres supérieurs, une éducation thérapeutique et un soutien psychologique. Le groupe d'étude a reçu en plus de programme de réhabilitation pulmonaire, une EMI quotidienne à domicile avec un appareil Threshold ® pendant 30 minutes par jour. Le groupe d'étude a montré des améliorations significatives ($p < 0,001$) de la force des muscles inspiratoires avec une augmentation de 11 cmH₂O. Le groupe témoin a lui aussi amélioré ces paramètres après l'intervention mais de manière moins importante ($p < 0,05$).

Dans un essai contrôlé randomisé mené par Charususin *et al.* en 2018 [24], 219 patients atteints de BPCO et présentant une faiblesse des muscles inspiratoires ont été randomisés dans le groupe intervention comprenant un programme de réhabilitation pulmonaire et un EMI, ou dans le groupe contrôle comprenant un programme de réhabilitation respiratoire et un EMI fictif. Le programme de réhabilitation pulmonaire variait en fonction des pays en termes de nombre de sessions (de 20 jusqu'à 36 sessions), de fréquence d'entraînement (de 3 à 5 sessions par semaine). La durée des entraînements était de 60 minutes environ, l'intensité des entraînements était progressivement augmentée en fonction du résultat à l'échelle de Borg qui devait se situer entre 4 et 6.

L'EMI a été réalisé grâce au Powerbreath KHP2 ® au cours de toutes les sessions de réhabilitation pulmonaire. L'intensité initiale dans le groupe intervention a été fixée à environ 50% de la P_{Imax} des patients. Elle a été augmentée de façon continue et progressive jusqu'à atteindre l'intensité la plus élevée tolérable au cours de chacune des séances.

Les résultats ont montré une augmentation significativement plus importante de la force des muscles inspiratoires ($p < 0,001$) dans le groupe intervention : l'augmentation s'élève à 23 cmH₂O ou une amélioration de 42% contre 9 cmH₂O ou une amélioration de 17% dans le groupe contrôle. L'endurance des muscles inspiratoires mesurée grâce à un test d'endurance respiratoire, montre

une amélioration significative ($p < 0,001$) de la durée jusqu'à la limite de la tolérance, la puissance moyenne par respiration et le travail total.

Arnedillo *et al.* ont réalisé une étude en 2020 [25] visant à évaluer les effets de l'EMI ajouté à un programme de réhabilitation pulmonaire grâce à un nouveau dispositif. Ce dispositif appelé Feelbreathe® permet une restriction du flux ventilatoire nasal à l'aide d'une bande d'un matériel collé sous les narines empêchant le libre passage de l'air par le nez mais produisant une résistance au flux. 20 patients ont été inclus dans l'étude et répartis de manière aléatoire dans le groupe témoin (traitement médical standard), le groupe ONB (recevant un programme de réhabilitation pulmonaire sans Feelbreathe) ou le groupe FB (recevant le même programme de réhabilitation pulmonaire et utilisant le Feelbreathe).

Le programme de réhabilitation pulmonaire était réalisé sur 8 semaines à raison de 3 séances par semaine. Il comprenait de l'éducation thérapeutique et un entraînement général de 60 minutes constitué d'exercices aérobies sur cycloergomètre ou tapis roulant, d'exercices respiratoires, d'étirements et de renforcements des membres supérieurs et inférieurs. Après chaque séance, l'intensité de l'effort perçu était mesurée grâce à l'échelle de Borg. La taille du dispositif Feelbreathe® était initialement de 4mm et était augmentée progressivement si le score mesuré grâce à l'échelle de Borg était inférieur à 4 après la séance.

La P_{Imax} s'est significativement améliorée dans le groupe FB en comparaison avec le groupe ONB et en comparaison avec le groupe contrôle. Les deux autres groupes n'ont pas atteint le seuil de différence significative.

IV.1.2. Résultats concernant la fonction pulmonaire

Seul l'essai contrôlé randomisé de Charususin *et al.* [25] a évalué les effets de l'EMI sur la fonction pulmonaire et notamment sur la capacité vitale forcée (CVF). Une augmentation significative de la CVF a été observée dans le groupe intervention par rapport aux données de base ($p < 0,001$) mais aussi par rapport au groupe contrôle ($p = 0,028$). Aucune différence significative n'ont été démontrée entre les deux groupes pour les autres paramètres de la fonction pulmonaire.

IV.1.3. Résultats concernant la capacité d'exercice

La capacité d'exercice a été évaluée dans 3 des études favorables à l'utilisation de l'EMI dans un programme de réhabilitation respiratoire. Arnedillo *et al.* [25] ont alors utilisé le test de marche de 6 minutes (6MWT) pour évaluer cette composante, en suivant les directives de l'ATS. La distance parcourue dans les groupes FB et ONB (recevant tous les deux le programme de réhabilitation respiratoire) a augmenté. Le groupe FB a connu une augmentation de 65 mètres alors qu'on observe une amélioration de 30,7 mètres pour le groupe ONB et une amélioration de 19,6 mètres pour le groupe contrôle. Les deux groupes ont amélioré la distance au test et ont atteint la différence minimale cliniquement significative (MCID) définie par une amélioration d'au moins 30 mètres au test. Cependant l'amélioration dans le groupe FB est plus de deux fois supérieure.

La différence de distance parcourue au 6MWT entre le groupe FB et le groupe contrôle est aussi significativement différente.

Dans l'étude de Croitoru *et al* [23], le groupe intervention a obtenu une amélioration significative des paramètres de base ($p \leq 0,001$) concernant la distance parcourue au 6MWT, avec une augmentation de 44 mètres de la distance parcourue. Le groupe contrôle a aussi obtenue une amélioration significative ($p < 0,05$) de la distance au 6MWT avec une augmentation de 59,3 mètres. Les deux groupes ont donc obtenus une amélioration significative de la distance de marche au test, mais le groupe contrôle a obtenu une augmentation plus importante.

Charususin *et al.* [25], ont évalué la capacité fonctionnelle d'exercice grâce au 6MWT comme premier résultat. La distance réalisée dans le groupe intervention est statistiquement différente ($p < 0,05$) avant et après le protocole avec une amélioration de 35 mètres (353 mètres contre 388 mètres après intervention). Le groupe contrôle a aussi atteint le seuil de différence statistique ($p < 0,05$) avec une amélioration de 33 mètres (374 mètres contre 407 mètres avant). L'amélioration est plus importante dans le groupe intervention mais la différence entre les deux groupes n'a pas atteint le seuil de signification statistique ($p = 0,967$).

Une amélioration de la durée de l'exercice d'endurance respiratoire a été enregistrée.

IV.1.4. Résultats concernant la qualité de vie

Certaines études ont évalué l'impact de l'ajout de l'EMI à un programme de réhabilitation pulmonaire sur la qualité de vie. Cet indicateur peut être évalué par différentes échelles.

L'étude de Croitoru *et al* [23], a évalué les effets de l'intervention sur la qualité de vie à l'aide du score HADS (*Hospital Anxiety and Depression Scale*). Le groupe intervention a observé une amélioration statistiquement significative du score ($p \leq 0,001$) de 3,5 points. De même, le groupe contrôle a obtenu une amélioration statistiquement significative ($p < 0,05$) du score de 3,71 points. La diminution est plus importante dans le groupe contrôle.

Arnedillo *et al* [25] ont utilisé le questionnaire CAT (COPD Assessment Test) (**annexe**) pour évaluer l'amélioration de la qualité de vie. Le groupe FB a enregistré une diminution de 3,8 points, le groupe ONB a enregistré une diminution de 2,4 points alors que le groupe contrôle a vu son score CAT diminuer d'1,3 points. Les deux groupes ont atteints la différence minimale cliniquement significative considérée pour un changement de 2 points au score, mais la différence entre les deux groupes recevant la réhabilitation pulmonaire n'a pas atteint la MCID. La diminution du score dans le groupe contrôle n'a pas atteint le seuil de différence statistique.

Une autre étude, menée par Abedi Yekta *et al.* [26], a pour but d'évaluer les effets de l'EMI et de l'entraînement aérobic sur la qualité de vie des patients atteints de BPCO. 60 patients atteints de BPCO modérée à sévère ont été randomisés en 4 groupes : un groupe EMI, un groupe d'entraînement aérobic, un groupe EMI + entraînement aérobic et un dernier groupe contrôle ne recevant aucune intervention sauf les traitements médicaux habituels.

L'EMI consistait à un entraînement 2 fois par semaine, à raison de 5 séries de 15 à 30 répétitions pendant environ 15 minutes. L'intensité d'entraînement était de 40 à 60%.

L'entraînement aérobic consistait à un entraînement sur tapis de marche ou sur cycloergomètre 2 fois par semaine pendant 40 minutes. L'intensité était choisie pour correspondre à 40 à 60% de la réserve de fréquence cardiaque.

La qualité de vie des patients a été évaluée grâce au SGRD (*Saint George's Pulmonary Disease Questionnaire*) que les patients remplissaient eux-mêmes sous la supervision d'un chercheur. Ce questionnaire compte 50 questions portant sur les symptômes, l'activité et l'impact sur la vie quotidienne.

La qualité de vie des patients dans les groupes s'est améliorée à la fin de l'intervention ($p < 0,05$) avec une diminution de $5,5 \pm 3,54$ points ($p = 0,0001$) dans le groupe EMI + entraînement aérobic, de $5,07 \pm 5,48$ points ($p = 0,0001$) dans le groupe entraînement aérobic, de $4,79 \pm 5,55$ points ($P = 0,002$) dans le groupe EMI seul. Le groupe contrôle a enregistré la plus faible baisse avec une diminution de $4,19 \pm 3,28$ points ($p = 0,0001$). Aucune différences significatives entre les groupes n'ont été signalées. Le groupe comprenant l'association de l'IMT et de l'entraînement aérobic a montré les effets les plus importants.

IV.1.5. Résultats concernant la dyspnée

Concernant la dyspnée, résultat le plus important concernant la problématique. Toutes les études ont évalué cet indicateur.

L'étude de Charususin *et al.* [25] n'a pas évalué directement la dyspnée mais a intégré son évaluation lors de la progression de l'intensité du programme d'exercice général. Elle a été quantifiée grâce à l'échelle de Borg CR-10. Le groupe d'intervention a rapporté des intensités d'entraînement supérieures au groupe contrôle ainsi qu'une réduction significative des symptômes de dyspnée pendant l'isotime du test d'endurance ($p = 0,049$).

Arnedillo *et al.* [24] ont évalué l'impact d'un nouveau dispositif d'EMI associé à un programme de réhabilitation pulmonaire. Les mesures de la dyspnée ont été réalisées grâce à l'échelle MMRC et seulement le groupe FB a montré une amélioration significative du score MMRC. L'importance de l'amélioration a été décrite grâce à la probabilité d'une réduction d'1 point du score MMRC (considérée comme la MCID) : la probabilité était supérieure à 0,5 dans le groupe FB et inférieure à 0,5 dans le groupe ONB et le groupe contrôle.

L'étude de Croitoru *et al.* [23] a évalué les effets de l'EMI sur la dyspnée grâce à l'échelle MMRC. Le groupe intervention a obtenu une amélioration significative ($p < 0,001$) de 0,85 points du score. Le groupe contrôle a aussi connu une amélioration significative ($p < 0,05$) de 0,71 points du score. La groupe intervention a, comme pour les autres paramètres évalués, une amélioration plus importante concernant la dyspnée.

Dans un essai contrôlé randomisé réalisé en 2015, Beaumont *et al* [27] ont voulu démontrer l'efficacité de l'EMI chez des patients atteints de BPCO de stade de gravité différent. 34 patients ont été randomisés dans un des deux groupes de l'étude. Un premier groupe recevant un protocole de réhabilitation pulmonaire standard pendant 3 semaines à raison de 5 jours par

semaine et l'autre groupe recevant un entraînement des muscles inspiratoires en association avec le même programme de réhabilitation pulmonaire, à raison de 2 sessions de 15 minutes par jour pendant le programme de réhabilitation pulmonaire.

Une analyse de sous-groupe a été réalisée entre les patients les plus sévèrement atteints (dont le VEMS était inférieur à 50% de la valeur prédite, c'est-à-dire la valeur attendue en tenant compte de l'âge, du sexe, de la taille et de l'origine ethnique du patient) et les patients dont le VEMS était supérieur à 50% de la valeur prédite. Une amélioration significative a été observée dans les catégories intensité sensorielle ($p = 0,006$), pas assez d'air/soif d'air ($p = 0,054$), effort mental ($p = 0,017$), sensation de serrage de la cage thoracique ($p = 0,004$), respiration rapide/profonde/lourde ($p = 0,003$) et l'écrasement ($p = 0,023$) du questionnaire MDP chez les patients recevant l'EMI. Cela indique donc un bénéfice dans la perception de la dyspnée.

L'étude a donc conclu que l'EMI dans un programme de réhabilitation respiratoire pouvait être favorable dans la perception de la dyspnée chez des patients présentant une BPCO sévère.

Ces articles ont donc conclu que l'ajout d'un EMI à un programme de réhabilitation pulmonaire était pertinente en termes d'amélioration de la dyspnée par rapport à l'amélioration de la dyspnée constatée chez des patients suivant seulement un programme de réhabilitation pulmonaire.

IV.2. Les études réfutant l'utilisation d'un EMI associé à un programme de réhabilitation respiratoire

IV.2.1. Résultats concernant la fonction des muscles inspiratoires (force et endurance)

Dans l'essai contrôlé randomisé de Beaumont *et al* [27], les 34 patients randomisés avaient une P_{Imax} préservée (> 60 cmH₂O) : la pression inspiratoire moyenne atteignait environ 95% de la valeur prédite. Les patients étaient diagnostiqués d'une BPCO sévère ou très sévère selon les critères GOLD. Les données de base des deux groupes n'étaient pas homogènes : le groupe intervention présentait un VEMS moyen moins élevé que le groupe contrôle ($p = 0,07$). Le groupe contrôle présentait un score sur l'échelle de Borg plus élevé que le groupe contrôle ($p = 0,045$). Un ajustement des mesures a été réalisé pour pouvoir conduire l'analyse statistique.

Dans l'analyse sans ajustement, l'association de l'EMI au programme de réhabilitation respiratoire standard (exercices aérobies, renforcement, éducation thérapeutique, sevrage tabagique, soutien psychologique et diététique) n'a pas permis d'obtenir une amélioration statistiquement significative de la P_{Imax} entre les deux groupes ($p = 0,47$). L'ajustement des données de base n'a pas changé ce résultat ($p = 0,52$).

L'analyse de sous-groupe pour les personnes présentant un VEMS $< 50\%$ de la valeur prédite n'a montré aucun changement significatif concernant la P_{Imax} ($p = 0,89$).

Une méta-analyse conduite par Beaumont *et al.* en 2018 [28], les effets de l'EMI ont été évalués en analysant 43 études réalisées jusqu'en 2018. Quatre essais contrôlés randomisés et un essai contrôlé ont évalué les effets de l'EMI ajouté à un programme de réhabilitation respiratoire en comparaison avec un groupe contrôle. Dans ces études, la force des muscles inspiratoires (mise en évidence grâce à la mesure de la P_Imax) a systématiquement été améliorée. Trois études ont ainsi mis en place un protocole chez des personnes ayant une P_Imax > 60 cmH₂O.

La mesure de l'effet de la technique pour la P_Imax est exprimée en différence moyenne. L'estimation de l'effet global, représenté par un losange noir, se trouve à droite de la ligne verticale correspondant à aucune différence entre l'EMI et le groupe contrôle (différence moyenne : 12,55 [9.80, 15.29] 95% IC) et montre donc un effet statistiquement significatif en faveur de l'EMI.

Lorsqu'on regarde les résultats des études correspondant à l'association à un programme de réhabilitation respiratoire, une étude possède sa différence moyenne à gauche de la ligne verticale (différence moyenne : -1.35 [-10.78, 8.08]) donc cela montre un effet statistiquement plus significatif pour le groupe contrôle ne réalisant pas l'EMI. Les deux autres études montrent un effet statistiquement significatif en faveur de l'EMI par rapport au groupe contrôle (différence moyenne respective 12.00 [-5.94, 29.94] et 4.03 [-5.01, 13.07]). Ainsi, l'ajout supplémentaire de l'EMI a permis d'améliorer la force des muscles inspiratoires de manière significative par rapport au groupe contrôle.

Beaumont *et al.* ont aussi réalisé un essai contrôlé randomisé [29] pour démontrer les effets supplémentaires de l'EMI à un programme de réhabilitation pulmonaire en comparaison à la réhabilitation pulmonaire seule. La population cible de cet essai correspond à des patients souffrant de BPCO sévère et très sévère. Aucune distinction selon la P_Imax de base n'a été réalisée mais la randomisation a été réalisée pour que les patients présentant une P_Imax supérieure ou inférieure à 60 cmH₂O soit identique dans chaque groupe.

L'intervention consistait à un programme standardisé de réhabilitation pulmonaire comprenant des exercices aérobies sur cycloergomètre ou tapis roulant, le renforcement des membres supérieurs et inférieures, l'éducation thérapeutique des patients, un programme de sevrage tabagique et des conseils socio-psychologiques et diététiques. Ce programme était réalisé 4 semaines à raison de 5 jours par semaine. L'autre composant était un EMI réalisé grâce à un appareil à seuil de type Threshold® pendant le temps de la réhabilitation pulmonaire (4 semaines) à raison de 5 séances par semaine comprenant 2 séances de 15 minutes supervisées par un kinésithérapeute. L'intensité de travail initiale était réglée à au moins 50% de la P_Imax des patients chaque séance et était augmentée de 10% après 10 jours d'entraînement pour atteindre un maximum de 60% de la P_Imax initiale. Le groupe contrôle ne recevait en traitement le programme de réhabilitation respiratoire seulement.

Le groupe recevant l'EMI a vu sa P_Imax après le 6MWT augmenter de $14,8 \pm 14,9$ cmH₂O en moyenne alors que le groupe contrôle a enregistré une différence moyenne de $9,9 \pm 13,8$ cmH₂O. La comparaison des deux groupes a montré une différence significative entre les deux groupes ($p = 0,041$) en faveur du groupe EMI.

Une analyse de sous-groupe a été réalisée pour obtenir les résultats chez des patients présentant ou non une faiblesse des muscles inspiratoires avec un seuil déterminé à 60 cmH₂O. Dans le groupe sans faiblesse des muscles inspiratoires, l'augmentation de la P_Imax chez les patients recevant l'EMI s'élevait à $14,5 \pm 15,1$ cmH₂O alors que l'augmentation dans le groupe

contrôle s'élevait à $8,3 \pm 13,2$ cmH₂O. L'analyse de ce sous-groupe a montré une différence significative en faveur du groupe EMI ($p = 0,054$). Dans le groupe présentant une faiblesse des muscles inspiratoires, l'amélioration de la P_Imax chez les patients recevant l'EMI s'élevait à $15,2 \pm 14,8$ cmH₂O alors que l'amélioration des patients du groupe contrôle s'élevait à $12,0 \pm 14,3$ cmH₂O. L'analyse de ce sous-groupe n'a pas montré de différence significative en faveur d'un des deux groupes ($p = 0,374$).

Schultz *et al.* ont mené un essai contrôlé randomisé [30] en 2018 dans le but d'évaluer les effets d'un protocole d'EMI ajouté en routine à un programme de réhabilitation pulmonaire de 3 semaines. La population cible présentait une BPCO de stade III ou IV selon la classification de GOLD. 561 patients ont été randomisés entre le groupe intervention et le groupe contrôle.

L'intervention consistait en un programme de réhabilitation pulmonaire de 3 semaines à raison de séance de 30 à 60 minutes. Les séances pouvaient contenir de l'entraînement physique (en endurance, en force et par vibration de tout le corps), d'éducation thérapeutique, de kinésithérapie respiratoire et de composantes optionnelles comme des séances pour le sevrage tabagique, des interventions de psychologues, des conseils sociaux et nutritionnels.

L'autre composante de l'intervention était l'EMI qui était réalisé selon un protocole décrit dans une étude précédente (Hill *et al.*) grâce au dispositif Powerbreath®. Les séances étaient réalisées 7 fois par semaine pendant 21 minutes correspondant à 7 cycles de 2 minutes de travail suivi par 1 minute de repos. L'intensité initiale de travail était de 30% de la P_Imax des patients et elle était progressivement augmentée jusqu'à 60% de la P_Imax. Les séances étaient supervisées 3 fois par semaine par des entraîneurs expérimentés.

Le groupe contrôle recevait un EMI fictif également supervisé 3 fois par semaine. Cela consistait en un faux dispositif qui semblait identique au vrai mais qui ne contenait pas de valve. Les patients recevaient les mêmes consignes que le groupe EMI mais la charge d'entraînement était donc inférieure à 1 cmH₂O qui ne représente pas un EMI efficace selon les auteurs.

La P_Imax moyenne des patients recevant l'EMI a augmenté de $17,29 \pm 14,99$ cmH₂O alors que la P_Imax moyenne des patients du groupe contrôle a augmenté de $8,97 \pm 14,89$ cmH₂O. La mesure de l'effet de la technique sur la P_Imax est exprimée en différence moyenne. Les deux groupes ont augmenté significativement leur P_Imax mais le groupe intervention recevant l'EMI l'a amélioré de façon plus significative (différence moyenne : 0.40 [0.72-1.16] IC 95%).

Wang *et al.* ont réalisé en 2017 un essai contrôlé randomisé prospectif [31]. Le but de cette étude était de démontrer les effets bénéfiques supplémentaires que pourrait avoir l'EMI en association à un programme de réhabilitation pulmonaire. L'objectif était aussi de comparer les effets selon la présence ou non d'une faiblesse musculaire. 81 patients ont été randomisés en trois groupes. Un premier groupe recevant seulement le programme de réhabilitation pulmonaire, un autre groupe recevant en plus l'EMI et un groupe contrôle.

Le programme de réhabilitation pulmonaire comportait 8 semaines d'entraînement à raison de 30 minutes par jour 3 fois par semaine. Le protocole comportait un entraînement sur cycloergomètre par intervalle training composé de 3 séries de 10 minutes d'exercice séparées de

repos de 3 à 5 minutes. L'intensité était réglée à 70% de la VO_{2max} déterminée pendant le test d'effort.

Le groupe recevant l'EMI réalisait en plus des 30 minutes de réhabilitation pulmonaire, 14 minutes d'EMI grâce au dispositif Threshold ® 3 fois par semaine. L'intensité était initialement réglée à 30% de la P_Imax du patient puis ajustée toutes les semaines pour obtenir un niveau de RPE de 12 à 14. Les 14 minutes d'entraînement étaient divisées en 7 sessions de 2 minutes avec un intervalle de repos d'une minute.

Le groupe contrôle devait réaliser 8 semaines de marche libre sans consignes de vitesse ou de distance. Ils avaient pour consignes de s'arrêter s'ils sentaient mal.

Le groupe recevant la combinaison de la réhabilitation pulmonaire et l'EMI ainsi que le groupe recevant seulement la réhabilitation pulmonaire ont montré une amélioration significative de la P_Imax en comparaison au groupe contrôlé ($p < 0,05$). Les améliorations étaient respectivement de 5.20 ± 0.89 cmH₂O et $1.32 \pm 0,91$ cmH₂O. L'augmentation dans le groupe combiné est statistiquement significative ($p < 0,05$) en comparaison avec le groupe recevant seulement la réhabilitation respiratoire.

Une analyse de sous-groupe concernant les patients présentant une faiblesse musculaire ou non (avec un seuil à 60 cmH₂O) dans le groupe combiné montre une amélioration significative de la P_Imax. Le groupe avec faiblesse musculaire a enregistré une augmentation de la P_Imax d' 1.22 ± 2.44 cmH₂O alors que l'autre groupe a montré une augmentation de 6.89 ± 1.45 cmH₂O. aucune différence significative n'a été montrée entre ces deux groupes ($p > 0,05$).

Un autre essai contrôlé randomisé a été conduit par Charususin *et al.* en 2017 [32][33] dans l'optique d'examiner les effets de l'ajout d'un programme d'EMI haute intensité à un programme de réhabilitation pulmonaire de 3 mois. 169 patients présentant une faiblesse des muscles inspiratoires ($P_{I}max < 60$ cmH₂O) ont été randomisés entre un groupe intervention recevant l'EMI et une réhabilitation respiratoire standard et un groupe placebo recevant aussi la réhabilitation respiratoire ainsi qu'EMI placebo.

Le programme de réhabilitation respiratoire comportait un entraînement sur cycloergomètre, sur tapis roulant, un renforcement des membres supérieurs et inférieurs ainsi qu'un entraînement sur ergomètre à bras. Les patients réalisaient 3 séances par semaine soit 36 séances au total. Les séances duraient entre 40 et 60 minutes au début de l'intervention pour atteindre 60 à 90 minutes à la fin des 3 mois. L'intensité initiale correspondait à 60-70% de la charge maximale de travail.

L'EMI était réalisé grâce au dispositif Powerbreath KH1 ® (POWERBreathKH1, HaB International Ltd, Southam, UK) pendant 12 semaines tous les jours. Les séances duraient 21 minutes chacune et les patients devaient réaliser 6 cycles de 30 respirations). Le groupe intervention débutait avec une intensité correspondant à 40% de la P_Imax initiale du patient et l'intensité était ajustée chaque semaine grâce à une nouvelle mesure de la P_Imax. Le taux d'effort inspiratoire ne devait pas dépasser 4 à 6 sur l'échelle de Borg CR10 modifiée. Le groupe contrôle réalisait aussi un EMI mais avec une intensité de travail de 10% de la P_Imax sans modification pendant toute la durée du traitement.

Les patients du groupe intervention ont obtenu une amélioration de la P_Imax significativement plus importante que le groupe placebo ($p < 0,001$) avec une augmentation de

22±14 cmH₂O contre 9±10 cmH₂O pour le groupe contrôle. Le test d'endurance respiratoire a aussi montré une augmentation de la durée du test significativement plus importante dans le groupe intervention ($p < 0,001$) avec une amélioration de 352±260 secondes contre une amélioration de 162±221 secondes pour le groupe contrôle.

Gloeckl *et al.* ont réalisé une analyse de sous-groupe de l'étude précédente [34]. 70 patients ont été inclus dans l'analyse et ont reçu les mêmes interventions que précédemment. Ils présentaient aussi une faiblesse des muscles inspiratoires avec P_{Imax} moyenne de 51±14 cmH₂O. Tous les patients ont suivi le programme de réhabilitation pulmonaire de 3 semaines avec le programme d'EMI : les conditions de réalisation étaient les mêmes que dans l'étude précédente.

Après 3 semaines d'intervention, le groupe intervention a obtenu une amélioration plus significative de la P_{Imax} en comparaison avec le groupe placebo ($p < 0,001$) avec une augmentation de 18±12 cmH₂O contre 6±11 cmH₂O pour le groupe placebo. Les améliorations lors du test d'endurance respiratoire sont également significativement plus importantes dans le groupe intervention que dans le groupe placebo ($p = 0,044$) avec des temps de 236±254 secondes et 117±211 secondes respectivement.

Une étude pilotée par Chen *et al.* en 2017 [35] avait pour but de déterminer si l'ajout d'un EMI à un entraînement sur cycloergomètre pouvait avoir des bénéfices supplémentaires à un entraînement sur cycloergomètre seul. 73 patients atteints de BPCO sans distinction concernant le stade selon GOLD ou selon la faiblesse des muscles inspiratoires ont été randomisé dans 3 groupes : un groupe recevant une combinaison d'EMI et d'entraînement sur cycloergomètre, un groupe recevant seulement l'entraînement sur cycloergomètre et un troisième groupe contrôle qui n'a reçu aucune intervention.

La force des muscles inspiratoires mise en évidence par la mesure de la P_{Imax} a significativement augmenté dans le groupe effectuant les deux interventions en comparaison avec le groupe n'effectuant que l'entraînement sur cycloergomètre.

Une analyse de sous-groupe chez les patients présentant une faiblesse des muscles inspiratoires a été réalisé et n'a montré aucun effet additionnel de l'EMI comparé aux patients sans faiblesse des muscles inspiratoires.

Une méta-analyse récente datant de 2020 et conduite par Figueiredo *et al.* [36] avait pour but d'évaluer les effets de l'EMI selon qu'il soit associé ou non à d'autres interventions, selon la présence ou non d'une faiblesse muscle chez les patients, la charge d'entraînement et la durée de l'intervention. 48 études ont été incluses dont 9 qui évaluaient l'impact de l'EMI en association avec un programme de réhabilitation pulmonaire. 4 de ces 9 études ont étudié les effets chez des patients présentant une faiblesse des muscles inspiratoires.

La réhabilitation pulmonaire consistait en un entraînement résistance ou en aérobie sur cycloergomètre et de la kinésithérapie respiratoire conventionnelle.

8 des 9 articles évaluant l'association de l'EMI et de la réhabilitation pulmonaire ont mesuré cette P_{Imax}. Tous les articles ont montré une amélioration significative de la P_{Imax} dans

le groupe recevant l'intervention. Concernant les 4 études étudiant plus précisément la faiblesse des muscles inspiratoires, aucune différence significative n'a été soulignée entre les patients présentant une faiblesse et les patients n'en présentant pas.

Les études incluses ont montré que les charges d'entraînement comprises entre 60 et 80% de la P_Imax ont obtenu une amélioration plus significative de la P_Imax. De même, les études dont les interventions ont duré 3 à 4 semaines ont montré des améliorations significatives.

Polkey *et al.* ont publié en 2018 [37] une revue de la littérature existante au sujet de l'EMI chez les patients BPCO stables. Ils citent trois études récentes qui ont amené des réponses concrètes à la question de l'ajout de l'EMI à un protocole de réhabilitation respiratoire. En tout, 1000 patients ont été randomisés dans ces 3 études et les résultats ont permis d'émettre quelques conclusions : l'ajout de cette technique à une réhabilitation respiratoire standard entraîne une amélioration significative de la P_Imax.

Polkey *et al.* ont aussi publié en 2011 [38] une analyse de la littérature pertinente à ce moment-là. Ils indiquent que toutes les études qui ont observé les effets de l'EMI ont mis en évidence une amélioration de la P_Imax des patients.

Gosselink *et al.* [39] ont réalisé en 2011 une mise à jour de leur méta-analyse datant de 2007. 32 études ont été incluses dans l'analyse. 430 patients composaient le groupe traitement et 400 patients le groupe contrôle. Dans les études incluses qui ont analysé les effets de l'ajout de l'EMI à un programme de réhabilitation respiratoire, les résultats sur la force des muscles inspiratoires ont montré une amélioration significative de la force (SES 0.69, 95% CI 0.42-0.96 ; $I^2 = 1\%$, $p < 0.001$) dans le groupe traitement par rapport au groupe contrôle.

Une analyse de sous-groupe entre les études avec des patients ne présentant pas une faiblesse des muscles inspiratoires et les études avec des patients présentant une faiblesse n'ont démontré aucune différence dans le premier cas (SES 0.42, 95% CI -0.01 -0.85, $I^2 = 0\%$, $p = 0.06$) alors que dans le groupe présentant une faiblesse, l'amélioration reste significative (SES 0.87, 95% CI 0.52–1.21; $I^2 = 0\%$, $p, 0.001$)

Concernant les résultats de l'application de l'EMI sur l'endurance des muscles inspiratoires, l'analyse du test d'endurance des muscles respiratoires (RMET) a montré une amélioration significative dans le groupe recevant la réhabilitation pulmonaire et l'EMI en comparaison au groupe contrôle ne recevant que la réhabilitation respiratoire (+242 s, SES 0.98, 95% CI 0.72–1.25 ; $I^2 = 3\%$, $p < 0.001$).

Tous les articles montrent que l'utilisation de l'EMI associé à un programme de réhabilitation respiratoire ou toute activité s'y apparentant permet une amélioration significative de la force des muscles inspiratoires mesurée grâce à la P_Imax. Il permet aussi une amélioration de l'endurance des muscles inspiratoires mesurée grâce au test d'endurance respiratoire.

IV.2.2. Résultats concernant la fonction pulmonaire

En plus d'avoir mis en évidence une amélioration de la force des muscles inspiratoires, tous les articles n'ont pas mesuré les effets de l'EMI associé à un programme de réhabilitation pulmonaire sur la fonction pulmonaire.

L'essai randomisé de Beaumont *et al.* [27] a aussi évalué les effets de l'EMI sur la fonction pulmonaire notamment en mesurant la capacité inspiratoire au repos et après l'effort (après le 6MWT). Les changements de capacité inspiratoire n'étaient pas significatifs entre les 2 groupes même après l'ajustement des données initiales : la capacité inspiratoire était significativement plus importante dans le groupe contrôle.

Après l'ajustement, la capacité inspiratoire a augmenté de 0.19 ± 0.53 litres au repos et 0.27 ± 0.63 litres à la fin du 6MWT chez les patients ayant reçu l'EMI supplémentaire. Cette même capacité a augmenté de 0.08 ± 0.42 litres au repos et a diminué de 0.14 ± 0.61 litres après le 6MWT. Ces modifications ne montrent pas de différences significatives entre les deux groupes ($p = 0.69$ au repos et $p = 0.10$ après le 6MWT).

L'essai contrôlé randomisé de Beaumont *et al.* datant de 2018 [29] a aussi évalué les paramètres fonctionnels pulmonaires pour mesurer les effets de l'EMI. La capacité inspiratoire a été mesurée au repos ainsi qu'à l'effort après le 6MWT. D'après les auteurs, le rapport (IC à l'effort – IC au repos) permet d'évaluer l'hyperinflation dynamique.

Aucune amélioration significative n'a été montrée dans cette étude concernant les caractéristiques reflétant l'hyperinflation dynamique. Dans le groupe recevant l'EMI associé à la réhabilitation pulmonaire, le rapport n'a pas connu une amélioration significative (de 0.3 ± 0.6 litres au début de l'intervention à 0.4 ± 0.5 litres, $p=0,087$). Le groupe pratiquant seulement la réhabilitation respiratoire n'a pas non plus connu une amélioration significative du rapport (de 0.5 ± 0.5 litres à 0.6 ± 0.5 litres, $p=0,35$).

Dans l'essai contrôlé randomisé de Schultz *et al.* [30], les capacités pulmonaires ont été réduites à une mesure du volume inspiratoire forcé en 1 seconde (FIV1) avant et après l'intervention. Le groupe intervention a significativement amélioré son FIV1 de 0.36 ± 0.53 litres alors que le groupe contrôle l'a amélioré de 0.25 ± 0.52 litres. La mesure de l'effet de l'EMI sur le FIV1 est exprimée en différence moyenne. Les deux groupes ont augmenté leur FIV1 mais le groupe intervention l'a amélioré de façon plus significative (différence moyenne : 0.10 [0.02-0.19] IC 95%). Les autres paramètres fonctionnels (capacité vitale, volume expiratoire forcé en 1 seconde) ont obtenu une amélioration significative dans les deux groupes mais aucune différence significative n'a été montrée entre les deux groupes.

L'essai contrôlé randomisé de Wang *et al.* [31] a aussi retenu les paramètres fonction pulmonaire comme mesures pour évaluer les effets de l'EMI en supplément à un programme de réhabilitation pulmonaire. Une amélioration significative de la capacité inspiratoire a été observée dans le groupe recevant la réhabilitation pulmonaire seule et le groupe recevant l'intervention combinée (réhabilitation pulmonaire et EMI) en comparaison au groupe contrôle (0.06 ± 0.02 litres et 0.10 ± 0.02 litres respectivement, $p < 0,05$). Cependant, aucune différence significative du rapport

entre la capacité inspiratoire à l'effort et la capacité inspiratoire au repos n'a été observée entre le groupe de réhabilitation seule et le groupe combinée ($p > 0,05$).

Aucun changement significatif n'a été montré ($p > 0,05$) dans les autres paramètres de la fonction pulmonaire (capacité vitale forcée, volume expiratoire forcé en 1 seconde...).

Une étude menée par Majewska-Pulsakowska *et al.* [38] en 2015 avait pour but de déterminer les effets d'un entraînement des muscles inspiratoires combiné ou non à un entraînement sur cycloergomètre. 43 patients ont été inclus dans l'étude et ont été intégrés au hasard dans un des quatre groupes : EMI / entraînement sur cycloergomètre / EMI + cycloergomètre / groupe contrôle.

L'entraînement sur cycloergomètre consistait à un entraînement de 8 semaines à raison de 3 fois par semaine sous la supervision d'un cardiologue. La durée initiale de l'entraînement était de 23 minutes pour être progressivement augmentée jusqu'à 45 minutes. La charge d'entraînement était calculée individuellement sur la base du résultat au test d'effort initial.

L'EMI était réalisé grâce à un dispositif Threshold ® pendant 8 semaines à raison de 5 fois par semaine. Les séances étaient réalisées 2 fois par jour à heures fixes pendant 5 à 15 minutes. L'intensité de travail était réglée à 30% de la P_Imax du patient la 1^{ère} semaine puis augmenter progressivement pour atteindre 60% de la P_Imax pendant les 3 dernières semaines.

Les mesures du FIV1 n'ont montré aucune différence significative au sein des deux groupes : $p = 0.45$ pour le groupe cycloergomètre seul et $p = 0.81$. De même, le volume d'expiration forcé en 1 seconde n'a pas souligné de différence significative au sein des deux groupes (respectivement $p = 0.53$ et $p = 0.89$).

IV.2.3. Résultats concernant la capacité d'exercice

Pour évaluer les effets supplémentaires que pourrait apporter l'EMI associé à un programme de réhabilitation respiratoire, les auteurs des articles ont aussi évalué l'impact sur la capacité d'exercice puisque la dyspnée apparaît souvent à l'effort et est décrite comme une raison de la diminution des capacités d'exercice.

L'essai randomisé de Beaumont *et al.* [27] a réalisé un 6MWT pour évaluer la capacité d'exercice des patients inclus dans l'étude. Les résultats ne montrent aucune différence significative avant et après ajustement des données de base pour les résultats du 6MWT. Le groupe intervention a obtenu une amélioration de 20 mètres alors que le groupe contrôle a obtenu une amélioration de 45 mètres ($p = 0.70$). L'ajout de l'EMI n'a pas permis d'obtenir un gain en termes de capacité d'exercice selon les auteurs.

La revue systématique de Beaumont *et al.* menée en 2018 [28] a recensé 33 études mesurant la capacité d'exercice. 22 études ont utilisé le 6MWT : dans ces études, 3 études comparaient l'EMI associé à un programme de réhabilitation respiratoire à une réhabilitation seule. La mesure de l'effet de la technique pour la distance parcourue au 6MWT est exprimée en différence moyenne. L'estimation de l'effet global, représenté par un losange noir, se trouve à droite de la ligne verticale correspondant à aucune différence entre l'EMI et le groupe contrôle (différence

moyenne : 27.01 [-7.43, 61.46] 95% IC) et montre donc un effet statistiquement significatif en faveur de l'EMI.

Lorsqu'on regarde les résultats des études correspondant à l'association à un programme de réhabilitation respiratoire, trois études ont utilisés cet indicateur. Une première étude possède sa différence moyenne à gauche de la ligne verticale (différence moyenne : -3.00 [-83.03, 77.03]) donc cela montre un effet statistiquement plus significatif pour le groupe contrôle ne réalisant pas l'EMI. Les deux autres études montrent aussi un effet statistiquement significatif en faveur du groupe contrôle par rapport au groupe EMI (différence moyenne respective -12.00 [-48.05, 24.05] et -2.00 [-33.84, 29.84]). Ainsi, l'ajout supplémentaire de l'EMI n'a permis d'améliorer la distance parcourue au 6MWT de manière significative par rapport au groupe contrôle.

L'essai contrôlé randomisé de Beaumont *et al.* [29] a aussi utilisé le 6MWT pour évaluer la modification de la capacité d'exercice après utilisation de l'EMI associé à un programme de réhabilitation. Aucune modification significative n'a été prouvée entre les deux groupes. Le groupe intervention recevant l'EMI en supplément a amélioré sa distance moyenne au 6MWT de 23.4±51.2 mètres et le groupe contrôle a augmenté sa distance moyenne de 36.2±44.9 mètres ($p=0.111$).

Dans l'essai contrôlé randomisé mené par Charususin *et al.* [32][33], la capacité d'exercice fonctionnelle a aussi été évaluée grâce au 6MWT. Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les deux groupes. Le groupe intervention a augmenté sa distance moyenne au 6MWT de 38±49 mètres et le groupe contrôle de 34±40 mètres. L'analyse statistique ne peut donc pas en déduire une différence statistiquement significative ($p=0.926$).

Dans l'analyse de sous-groupe de cette même étude réalisée par Gloeckl *et al.* [34], après 3 semaines d'intervention, les deux groupes ont obtenu une amélioration significative de leur capacité d'exercice ($p<0,001$) en améliorant leur distance moyenne parcourue au 6MWT. Le groupe intervention a gagné 38±37 mètres et le groupe contrôle a gagné 39±28 mètres. Les deux groupes ont amélioré significativement leur capacité d'exercice mais aucune différence significative n'est notable entre les deux groupes.

Chen *et al.* [35] ont aussi montré dans leur étude qu'aucune différence significative n'a été observée entre le groupe recevant l'EMI en supplément de l'entraînement sur cycloergomètre et le groupe recevant seulement l'entraînement sur cycloergomètre ($p>0.05$) en termes de capacité d'exercice.

Figueiredo *et al.* [36] indiquent dans leur revue de littérature que sur les 9 études qui ont évalué les effets de l'EMI associé à une réhabilitation respiratoire, 5 études ont utilisé le 6MWT pour évaluer la capacité d'exercice. Dans ces études, aucune différence significative entre le groupe intervention et le groupe contrôle n'a été trouvée.

Polkey *et al.*, d'après l'analyse des études qu'ils ont étudiées [37], ont déduit que sur un échantillon de 1000 sujets dans des études qui ont évalué les bénéfices de l'association de l'EMI

à un programme de réhabilitation respiratoire, aucune amélioration significative de la capacité d'effort n'avait été retrouvé dans les groupes interventions. Au contraire, les groupes contrôles ne bénéficiant que d'un programme de réhabilitation pulmonaire, ont vu leur distance au 6MWT s'améliorer.

La méta-analyse de Gosselink *et al.* [39] a analysé les résultats des études incluses en termes de capacité d'exercice grâce au 6MWT et 12MWT. Pour les études ajoutant l'EMI à un programme de réhabilitation respiratoire standard, il a été démontré une amélioration significative des distances réalisées au test mais l'amélioration est marginale (SES 0.29, 95% CI -0.004 -0.58; $p=0.05$).

Une analyse de sous-groupe a été réalisée pour comparer les études avec ou sans faiblesse des muscles inspiratoires. Cette analyse a montré un résultat plus significatif pour le groupe présentant une faiblesse (SES 0.51, 95% CI 0.10-0.91 ; $p<0.05$) mais pas pour le groupe ne présentant pas de faiblesse (SES 0.05, 95% CI -0.37-0.47 ; $p=0.82$). Les groupes de patients des articles avec faiblesse musculaire n'étaient pas homogènes donc les résultats n'ont pas pu atteindre le seuil de signification statistique (SES 0.60, 95% CI -0.08-1.29 ; $p = 0.08$).

Les auteurs ont aussi comparé les études en termes de puissance maximale développée (W_{max}) au test sur cycloergomètre mais n'ont montré aucun effet global significatif de l'ajout d'EMI. Les mêmes conclusions ont été avancées pour la ventilation maximale par minute ($V'_{E,max}$) et la consommation maximale en oxygène (V'_{O2max}).

Tous les articles ayant utilisé le 6MWT pour apprécier l'amélioration de la capacité d'exercice, aucune différence statistiquement significative n'a été prouvée entre les groupes recevant l'EMI en supplément et les groupes n'ayant reçu que la réhabilitation pulmonaire.

IV.2.4. Résultats concernant la qualité de vie

Certaines études, pour pouvoir réellement interpréter les possibles bénéfices de l'EMI associé à un programme de réhabilitation pulmonaire ont utilisé une évaluation de la qualité de vie liée à la santé avec des échelles spécifiques pour mettre en avant si l'EMI pouvait rendre le quotidien des patients plus agréable.

Dans la méta-analyse de Beaumont *et al.* [28], les auteurs des études analysées ont utilisé le SGRQ ou le CRQ pour évaluer l'effet de l'EMI.

2 études des 9 ayant associé l'EMI à la réhabilitation respiratoire ont mesuré la qualité de vie liée à la santé chez les patients grâce au SGRQ : la mesure de l'effet de la technique pour l'amélioration du score du questionnaire est exprimée en différence moyenne. Lorsqu'on regarde les résultats des études correspondant à l'association à un programme de réhabilitation respiratoire, une première étude possède sa différence moyenne à droite de la ligne verticale (différence moyenne : 0.03 [-3.99, 4.05]) donc cela montre, dans le cas de ce score, un effet statistiquement plus significatif pour le groupe contrôle ne réalisant pas l'EMI puisque le score du questionnaire doit diminuer pour montrer une amélioration. L'autre étude montre quant à elle un effet statistiquement significatif en faveur du groupe EMI par rapport au groupe contrôle (différence moyenne -0.99 [-6.21, 4.23]). Ainsi, l'ajout supplémentaire de l'EMI a permis d'améliorer le score obtenu au questionnaire SGRQ de manière significative par rapport au groupe contrôle.

Une étude a utilisé le CRQ : la différence moyenne se trouve à gauche de la ligne verticale (différence moyenne : -1.50 [-5.20, 2.20]) donc cela montre dans le cas de ce score, un effet

statistiquement plus significatif pour le groupe contrôle ne réalisant pas l'EMI puisque le score du questionnaire CRQ doit augmenter pour montrer une amélioration.

Beaumont *et al.*, dans leur essai contrôlé randomisé [29], ont aussi utilisé le SGRQ pour évaluer la qualité de vie liée à la santé. Les deux groupes ont diminué leur score au questionnaire : -10.1 ± 10.9 points pour le groupe recevant l'IMT et -9.0 ± 12.5 points pour le groupe contrôle. Une diminution du score témoigne d'une amélioration de la qualité de vie mais la différence entre les deux groupes n'est pas statistiquement significative ($p=0.580$).

Schultz *et al.* [30] ont utilisé le SGRQ dans leur étude. Les résultats montrent que les deux groupes ont amélioré significativement leur résultat mais aucune différence statistiquement significative n'a été prouvée entre les deux groupes en faveur de l'EMI. Le groupe recevant l'EMI a diminué son score de -9.42 ± 13.44 points et le groupe contrôle a diminué son score de -10.50 ± 13.22 points. La différence moyenne s'évalue à 1.57 ($[-0.44, -3.59]$ CI 95%) ce qui montre qu'il n'y a pas d'effet statistiquement significatif en faveur de l'EMI.

Gosselink *et al.* [39] ont réalisé une analyse de la qualité de vie grâce à l'échelle CRQ. Lors de l'analyse de sous-groupe des études comparant l'ajout de l'EMI à un programme de réhabilitation respiratoire, aucun effet n'a été démontré dans les items *dyspnoea*, *fatigue* et *emotions*.

Nicolino Ambrosino [40] explique dans un article dans lequel il a regroupé les analyses de différents articles, que l'évaluation de la qualité de vie dans le cas de l'utilisation de l'EMI chez des patients BPCO est compliquée. En effet, il explique que les résultats concernant la qualité de vie sont centrés sur le patient : c'est le patient qui va lui-même remplir les questionnaires ou c'est lui qui va faire part de ses ressentis subjectifs. Ainsi, il explique que les scores qu'on en déduit ne sont pas des conséquences directes d'une faiblesse des muscles inspiratoires ou d'une amélioration due spécifiquement à l'EMI, mais qu'ils sont influencés par d'autres facteurs que la fonction musculaire inspiratoire. Il indique que les comorbidités, l'état nutritionnel et l'hyperinflation sont quelques-uns des facteurs qui modifient l'interprétation des scores.

IV.2.5. Résultats concernant la dyspnée

Dans l'essai randomisé de Beaumont [27], la dyspnée a été évaluée grâce au questionnaire MDP, à l'échelle MMRC et à l'échelle de Borg. Après ajustement des mesures initiales de l'échelle de Borg et du VEMS, des améliorations significatives ont été observées chez les patients recevant l'EMI pour 2 items du questionnaire MDP (*tight or constricted*, *breathing a lot : rapid, deep, heavy*).

L'analyse de sous-groupe a montré que les patients souffrant de BPCO sévère du groupe recevant l'EMI ont présenté une amélioration statistiquement significative par rapport au groupe contrôle dans 5 items du questionnaire MDP : *sensory intensity* ($p = 0.071$), *mental effort or concentrate* ($p = 0.086$), *breathing a lot : rapid, deep, heavy* ($p = 0.044$), *thigh or constricted* ($p = 0.027$) et *crush* ($p = 0.075$).

Chez les patients présentant une BPCO légère selon les critères GOLD, aucun élément du questionnaire n'a été significativement amélioré dans le groupe recevant l'EMI par rapport à l'autre groupe.

Dans la méta-analyse de Beaumont *et al.* [28], 5 articles étudiant les effets de l'EMI associé à un programme de réhabilitation respiratoire ont mesuré la dyspnée. Dans toutes les études, la dyspnée a été réduite après le programme de réhabilitation pulmonaire avec ou sans EMI. Dans 4 des études, les auteurs n'ont trouvé aucune différence entre les groupes et une étude n'a pas comparé les groupes en termes d'évaluation de la dyspnée.

L'essai contrôlé randomisé de Beaumont *et al.* datant de 2018 [29], la dyspnée a été évalué grâce au questionnaire MDP après l'intervention de 4 semaines. Ce questionnaire a été auto-administré par les patients à la fin du 6MWT. D'autres échelles d'évaluation de la dyspnée ont été utilisées comme l'échelle de Borg et l'échelle MMRC. Les patients inclus dans cette étude présentaient une dyspnée sévère selon les critères de GOLD et après l'intervention, la dyspnée évaluée grâce au questionnaire MDP a significativement diminué dans le groupe recevant l'EMI (14.6 ± 11.5 à 9.9 ± 9.7 ; $p < 0.001$) mais aussi dans le groupe contrôle, (14.1 ± 11.7 à 10.2 ± 8.6 ; $p = 0.04$). Cependant lors de l'analyse comparative des deux groupes, la diminution de la dyspnée n'était pas statistiquement différente entre les deux groupes.

L'intensité de la dyspnée mesurée grâce à l'échelle MMRC ou l'échelle de Borg a significativement diminuer dans le groupe recevant l'EMI (respectivement 5.4 ± 2.2 à 4.0 ± 2.1 ; $p < .001$ pour l'échelle MMRC et 2.3 ± 1.1 à 1.4 ± 1.2 ; $p < 0.001$ pour l'échelle de Borg). L'analyse comparative des deux groupes n'a pas montré de différence statistiquement significative entre les deux groupes.

Dans l'essai contrôlé randomisé de Shultz *et al.* [30], la dyspnée a été évalué grâce au questionnaire BDI-TDI. Le groupe recevant l'EMI n'a pas montré d'améliorations supplémentaires significatives en termes de dyspnée.

L'essai contrôle randomisé de Wang *et al.* [31] a évalué les effets de l'EMI supplémentaire sur la dyspnée grâce aux échelles MMRC et CAT (COPD Assessment Test). Le groupe contrôle a obtenu une modification de son score à l'échelle MMRC de 0.11 ± 0.13 points. Le groupe recevant seulement la réhabilitation pulmonaire a vu son score diminuer de -0.33 ± 0.13 points et le groupe recevant en plus l'EMI a obtenu une amélioration de -0.47 ± 0.13 points.

Les groupes qui ont suivi la réhabilitation respiratoire et la réhabilitation associée à l'EMI ont montré des différences significatives comparés au groupe contrôle ($p < 0.05$) mais l'analyse comparative des ces deux groupes n'a pas montré d'amélioration statistiquement significative ($p > 0.05$).

Dans une analyse de sous-groupe des patients présentant ou non une faiblesse des muscles inspiratoires, aucunes différences significatives en termes de dyspnée n'a été montré. Les patients présentant une force des muscles inspiratoires jugées normales par les auteurs ont présenté une amélioration du score sur l'échelle MMRC de -0.53 ± 0.17 points. Les patients présentant eux une faiblesse d'après les auteurs ont montré une amélioration de -0.33 ± 0.25 points. L'analyse

comparative des deux groupes n'a pas montré de différences significatives entre les deux groupes ($p = 0.553$).

Dans l'étude de Chen *et al.* [35], les deux groupes ont amélioré leur score d'évaluation de la dyspnée mais aucune différence significative n'a été démontré entre comparant les deux groupes ($p > 0.05$).

Dans la méta-analyse de Figueiredo *et al.* [36], les articles comparant l'ajout supplémentaire de l'EMI à un programme de réhabilitation pulmonaire au suivi d'une réhabilitation seule n'ont montré aucunes différences significatives en termes de dyspnée.

La méta-analyse de Gosselink *et al.* [39] a utilisé l'analyse des scores obtenus à l'échelle de Borg, l'échelle TDI et le questionnaire CRQ pour montrer les effets de l'EMI. L'analyse de sous-groupe pour les études ajoutant l'EMI au programme de réhabilitation a montré qu'aucun effet significatif de l'EMI n'a été engendré sur le score de dyspnée de Borg (SES -0.32, 95% CI -0.70–0.06; $p = 0.10$) ou même sur le score obtenu au CRQ (SES -0.06, 95% CI -0.78–0.66; $p = 0.88$).

La plupart des études qui ont évalué la dyspnée n'ont montré aucunes améliorations significatives supplémentaires [27][28][31][35][36][39] imputables à l'ajout de l'EMI à un programme de réhabilitation pulmonaire. Seule une étude [27] a montré une amélioration dans la perception de la dyspnée chez des patients atteints de BPCO sévère.

V. Discussion

Les résultats des différentes études incluses dans cette revue de littérature sont hétérogènes en ce qui concerne les effets de l'ajout d'un entraînement des muscles respiratoires sur la dyspnée des patients de BPCO.

C'est pourquoi il est important de discuter les résultats de ces études pour pouvoir obtenir les meilleures conclusions au sujet de l'intérêt de l'utilisation de cette technique.

V.1. Les limites globales des études

V.1.1. Les années de publication

Les études et articles inclus dans cette revue de littérature datent tous d'après 2010, ce sont donc des papiers récents. Le choix du seuil de 10 ans pour le choix des études a peut-être réduit le nombre d'occurrences obtenus mais plusieurs méta-analyses incluses dans ce travail ont réalisé un travail rétrospectif sur les études qui ont été publiées depuis la première apparition de la technique dans la littérature (1976). Cela a donc permis d'avoir une bonne représentation des résultats et d'obtenir une puissance suffisante dans les résultats émis.

V.1.2. Le niveau des études

D'après la HAS en avril 2013 [42], il existe plusieurs niveaux de preuve concernant les publications scientifiques. Le niveau de preuve de grade A, le plus élevé, est réservé aux essais comparatifs randomisés, aux analyses critiques de décision et aux méta-analyses d'essais contrôlés randomisés.

Dans cette revue de littérature, 15 études sont des études contrôlées randomisées, des essais randomisés ou des méta-analyses de bonne qualité : Charususin *et al* 2018 [24], Arnedillo *et al* 2020 [25], Abedi Yekta *et al* 2019 [26], Beaumont *et al* 2015 [27], Beaumont *et al* 2018 [28], Beaumont *et al* 2018 [29], Schultz *et al* 2018 [30], Wang *et al* 2017 [31], Charususin *et al* 2013 [32], Charususin *et al* 2015 [33], Gloeckl *et al* 2017 [34], Chen *et al* 2020 [35], Figueiredo *et al* 2020 [36], Majewska-Pulsakowska *et al* 2016 [38] et Gosselink *et al* 2011 [39].

Quatre autres publications sont des articles de revue de littérature ayant de faible niveau de preuve. Une étude cas-témoin de Croitoru *et al* [23]. Trois publications de Polkey *et al* 2018 [37], Ambrosino 2018 [40] et Polkey *et al* 2011 [41] sont des articles reprenant les résultats d'un nombre très limité d'études, même si celles-ci sont de haut niveau de preuve.

V.1.3. Les échantillons de patients

La plupart des essais randomisés ou des essais contrôlés randomisés inclus dans cette revue de littérature possèdent un échantillon de patients réduit.

Trois études ont des échantillons **inférieurs à 50 patients** : Croitoru *et al* 2018 [23] avec 28 patients, Arnedillo *et al* 2020 [25] avec 20 patients, Beaumont *et al* 2015 [27] avec 34 patients et Majewska-Pulsakowska *et al* 2016 [38] avec 43 patients.

Trois études ont des échantillons **inférieurs à 100 patients** : Abedi Yekta *et al* 2019 [26] avec 60 patients, Wang *et al* 2017 [31] avec 81 patients et Chen *et al* 2020 [35] avec 73 patients,

Quatre études ont des échantillons **supérieurs à 100 patients** : Charususin *et al* 2018 [24] avec 602 patients, Beaumont *et al* 2018 [29] avec 149 patients, Schultz *et al* 2018 [30] avec 602 patients, et Charususin *et al* 2015 [33] avec 169 patients,

Concernant les méta-analyses, les échantillons de patients sont assez importants : Beaumont *et al* 2018 [29] avec 642 patients et Gosselink *et al* 2011 [39] avec 890 patients.

V.1.4. Les caractéristiques des patients

Les critères d'inclusion et d'exclusion des patients dans les protocoles des études ne sont pas toujours les mêmes. Même si certains critères se retrouvent dans certaines études, d'autres présents ou non pourraient avoir un impact sur les résultats des études.

Concernant les critères d'inclusion, voici une liste exhaustive des critères retrouvés dans les études incluses dans cette revue de la littérature :

- Diagnostic de BPCO selon les recommandations de l'ATS/ERS : [27][29]
- Diagnostic de BPCO selon les recommandations GOLD : [25][26][31]
- Présence d'un coefficient $\frac{VEMS}{CV} < 70\%$: [30]
- Age supérieure à 40 ans : [31]
- Age compris entre 30 et 70 ans : [26]
- Age compris entre 50 et 70 ans : [38]
- Pas de participation à un programme de réhabilitation pulmonaire récemment : [24][31][32][38]
- Compréhension des instructions et possibilité de compléter les tests : [31]
- $PI_{max} < 60 \text{ cmH}_2\text{O}$: [24][32]
- Présence d'une dyspnée cotée à au moins 2 sur l'échelle MMRC : [25]
- État clinique stable : [25][38]

Concernant les critères d'exclusion, voici une liste exhaustive des critères retrouvés dans les études :

- Impossibilité de mesurer la capacité inspiratoire à la fin du 6MWT : [27]
- Incapacité de conduire un programme de réhabilitation pulmonaire : [27][29]
- Absence d'un consentement : [27][29]
- Pneumectomie ou lobectomie dans les 6 mois précédent l'étude : [27][29]
- Risque spontané de pneumothorax ou fracture de côte : [29]
- Insuffisance cardiaque aiguë ou EABPCO : [25][26][29][31]
- Présence d'une ventilation non-invasive : [25][30]
- Présence d'une oxygénothérapie longue durée : [25][26][38]

- Contre-indication à l'EMI (opération du poumon, embolie pulmonaire récente, pneumothorax spontané) : [30]
- Présence de comorbidités sévères : [30]
- Présence de troubles métaboliques : [25][31]
- Présence de troubles neurologiques : [32][38]
- Autres problèmes de santé susceptibles d'interférer avec la pratique d'activité physique : [24][25][26][31][32]
- Problèmes cognitifs ou psychiatriques [24][32][38]

Lorsque les auteurs des études ont présenté les protocoles, très rares sont ceux qui ont indiqué, ou non, les traitements médicamenteux standards que prenaient les patients et certains n'ont simplement pas mentionné si les patients inclus avaient recours à cette thérapie. Ce point est très important car la possibilité de réaliser la rééducation et les bénéfices pouvant en découler pourraient peut-être être très différents.

L'âge des patients n'a été un critère d'inclusion que dans seulement trois études [26][31][38]. La BPCO est une maladie d'apparition progressive, les symptômes et signes cliniques se développent lentement et se manifestent en général qu'à partir de l'âge de 40 ou 50 ans [43]. Ainsi, les tranches d'âge citées dans 2 études [26][31] comprises entre 30 et 70 ans semblent pertinentes en termes d'apparition de symptômes comme la dyspnée même si on peut supposer que les mécanismes provoquant ces symptômes sont apparus avant. L'étude de Majewska-Pulsakowska *et al* [38] n'a inclus que des patients dont l'âge était supérieur à 50 ans ce qui pourrait éliminer beaucoup de candidats potentiels à une réhabilitation pulmonaire à cause de la dyspnée.

L'âge des patients inclus n'étant pas connu, on peut se demander aussi si le vieillissement ne pourrait pas avoir des conséquences sur les aptitudes physiques et les caractéristiques de l'appareil respiratoire. En effet, il est prouvé qu'avec l'âge, des modifications anatomiques et fonctionnelles apparaissent. Les effets délétères du vieillissement peuvent se traduire par la présence d'arthrose ou de calcifications des cartilages costaux [44] pouvant réduire la mobilité costale et donc engendrer une rigidification de la cage thoracique. La cage thoracique étant moins mobile, sa compliance sera aussi impactée négativement et rendra l'efficacité de la mécanique ventilatoire moins importante. L'apparition d'une cyphose dorsale due à différents processus dégénératifs physiologiques pourra modifier la mécanique ventilatoire par une fermeture la cage thoracique : ce phénomène n'est pas en faveur d'une amélioration des volumes pulmonaires et d'une respiration plus efficace. Concernant les muscles respiratoires, ils sont aussi touchés par ce vieillissement avec une diminution de la force et de l'endurance des muscles respiratoires pouvant venir s'ajouter aux modifications propres à la BPCO. Cela peut donc engendrer une faiblesse des muscles inspiratoires.

Le mode de vie des patients n'a pas été pris en compte dans la description des populations cibles des études. Les patients inclus dans les études sont à différents stades d'évolution de la maladie selon les critères GOLD et cela pourrait avoir un impact sur la sédentarité par exemple, car on peut supposer que plus le stade de BPCO est avancé, plus les patients auront des difficultés dans la vie quotidienne à cause de la dyspnée, plus ils seront amenés à entrer dans la spirale du déconditionnement pour éviter cette sensation désagréable.

V.1.5. Le protocole d'intervention

Les recommandations françaises et internationales ne proposent pas un consensus sur un protocole précis d'EMI. Ainsi, les interventions réalisées dans les études diffèrent premièrement par le dispositif utilisé pour réaliser l'EMI mais aussi par la durée d'intervention, la fréquence des séances, l'intensité de la charge de travail, les conditions de réalisation de l'EMI... De nombreuses différences existent entre les protocoles ce qui pourrait engendrer de grandes différences dans les résultats obtenus.

La plupart des études enregistrent les résultats à très court terme, pour la plupart juste après l'intervention, on ne peut donc pas savoir si les potentiels bénéfices de l'EMI peuvent être gardés sur le long terme.

Certaines études ne possédaient pas de groupe contrôle pour comparer les résultats de la technique ce qui peut diminuer considérablement la force de leur résultat.

V.1.6. Les paramètres d'évaluation

On observe une homogénéité dans les paramètres d'évaluation avec une mesure de la fonction des muscles inspireurs en termes de force et d'endurance dans 14 études : [23][24][25][27][28][29][30][31][32][33][34][35][36][37]. La force est systématiquement évaluée grâce à la P_{Imax} en cmH₂O alors que l'endurance est évaluée grâce au test d'endurance des muscles respiratoires en secondes.

La plupart des études mesure aussi les effets sur la fonction respiratoire [24][27][29][30][31][38][39]. Les indicateurs sont cependant différents selon les études.

La capacité d'exercice est aussi évaluée dans plusieurs études [23][24][25][27][28][29][32][33][34][35][36][37][39]. Cette évaluation est souvent corrélée à une mesure de la dyspnée avant, pendant et après le test car la dyspnée est souvent responsable de l'arrêt du test. Une mesure de la capacité d'exercice est cohérente puisque si la distance augmente avant l'arrêt du test, on peut penser que le seuil d'apparition de la dyspnée a reculé et que par conséquent, la sensation de dyspnée chez les patients s'est améliorée. La plupart des études ont eu recours au 6MWT pour cette évaluation.

La qualité de vie liée à la santé est aussi un facteur souvent retrouvé dans les évaluations [23][25][26][28][29][30][39][40]. Les échelles sont parfois différentes mais comportent pour la plupart un ou plusieurs items concernant la dyspnée que ce soit au repos ou à l'effort ce qui peut donner des indications sur l'amélioration de la dyspnée après utilisation de l'EMI.

Finalement, la dyspnée en elle-même a été l'élément majeur dans l'interprétation des résultats, même si elle a été évaluée grâce à différents outils, on peut obtenir une vision des conséquences de l'ajout de l'EMI à u programme de réhabilitation respiratoire.

V.2. Critique des études

Les différentes études incluses dans cette revue de littérature n'arrivent pas à la même conclusion concernant l'intérêt de l'ajout de l'EMI à un programme de réhabilitation standard. Il est donc nécessaire de comparer les études pour obtenir des informations supplémentaires et avoir la possibilité de trancher quant à la réponse.

V.2.1. Concernant les protocoles d'intervention

Les protocoles concernant l'EMI sont très différents selon les études. Une analyse précise de ceux-ci pourrait nous permettre de dégager des différences qui pourraient être responsables ou non des résultats.

V.2.1.1. Modalités d'exécution du protocole

Dans les différents protocoles, l'EMI était réalisée soit entièrement à domicile [23], partiellement à domicile [24][29][30][32][33] ou pendant des séances de réhabilitation pulmonaire donc sous supervision [25][26][27][31][34].

Le fait de réaliser ces séances à la maison peut poser problème. Dans une étude [], l'adhérence de patients souffrant de BPCO à un protocole d'EMI à domicile a été évalué. Les résultats ont indiqué que certains patients ne respectaient pas le programme de façon intentionnelle ou non-intentionnelle. Cela peut s'expliquer par le manque de supervision d'un professionnel de santé qui encourage le patient à réaliser ses séances mais aussi par le fait que le patient ne croit pas aux effets de l'intervention. Il semble alors compliqué, lorsqu'on veut étudier les effets d'une technique, de ne pas pouvoir vérifier si elle a correctement été réalisée ou même s'il a simplement été réalisé.

V.2.1.2. Concernant les dispositifs utilisés

Ce problème d'adhérence peut être renforcé par l'utilisation de différents dispositifs. Certaines études utilisent un dispositif de type Threshold®, d'autres un dispositif Powerbreath® et le nouveau dispositif Feelbreathe®. Les appareils de type Threshold® ou Powerbreath® permettent un entraînement à domicile. Il est donc nécessaire de s'assurer que les patients réalisent bien leurs séances pour obtenir les résultats les plus représentatifs possibles.

L'Appareil Powerbreath KPH2 (POWERbreathe International Ltd., Southam, ENG, UK) utilisé dans une étude [24] possède néanmoins un avantage : il permet d'enregistrer et de conserver les données des entraînements réalisés par le patient [45] donc le superviseur peut avoir un feedback et s'assurer que les séances ont bien été réalisées. Il permet aussi aux patients d'avoir un biofeedback informatique en temps réel pendant l'entraînement : le patient peut réaliser au mieux ses séances. L'inconvénient est que ce dispositif coûte 300 à 600 dollars donc il n'est pas à la portée de toutes les structures proposant une réhabilitation respiratoire.

Le dispositif Powerbreath ® (POWERbreathe International Ltd., Southam, ENG, UK) ne permet pas l'enregistrement des séances mais il possède un embout buccal flexible qui s'adapte parfaitement à la bouche du patient [45] : cela permet au dispositif d'être totalement étanche et de ne pas avoir de fuite d'air qui pourrait limiter l'efficacité de la technique. Un autre aspect positif est qu'il permet de séparer les flux d'air inspiratoire et expiratoire. La valve inspiratoire qui crée la résistance au flux d'air est protégée de l'expiration. Son prix est très abordable (environ 40 dollars). Il ne permet qu'un entraînement inspiratoire.

Le dispositif Threshold ® IMT (Respironics Inc., Murrysville, PA, USA) est aussi un dispositif peu coûteux (environ 30 dollars). Il possède une valve à son extrémité fermée par la pression positive d'un ressort qui peut être graduée de 9 à 41 cmH₂O et permet une modification par incréments de 2 cmH₂O. Les patients doivent inspirer suffisamment fort pour ouvrir la valve et laisser entrer l'air. Un des inconvénients de ce dispositif est son embout buccal : il est en plastique dur ce qui rend difficile l'étanchéité de l'appareil si le patient ne positionne pas correctement sa bouche. L'autre problème est sa charge maximale de 41 cmH₂O : cela pourrait empêcher l'obtention de charges d'entraînement adéquates en fonction de la P_{Imax} de base des patients.

Pour comparer les performances pures des deux dispositifs, une étude menée par Alwohayeb *et al.* en 2018 [47] a comparé les effets du Threshold IMT ® et du Powerbreath-plus ®. Les résultats ont montré que les deux dispositifs améliorent la P_{Imax} et la demande ventilatoire mais que l'appareil Threshold IMT ® à seuil a permis d'obtenir des améliorations plus importantes en termes d'augmentation de la P_{Imax}.

Le dispositif Feelbreathe ® ne pose pas de problème d'adhérence puisqu'il est utilisé lors des séances de réhabilitation respiratoire donc le superviseur peut être sûr que les patients réalisent bien l'EMI. Comme mentionné dans la seule étude de la revue de littérature l'utilisant [25], le dispositif correspond à une bande de matériau hypoallergénique placée et collée sous les narines. Cette bande empêche le libre passage de l'air par le nez en produisant une résistance au flux inspiratoire. La résistance peut être modifiée selon la taille et la porosité de la bande. Son grand avantage est que ce dispositif permet une respiration physiologique, c'est-à-dire une respiration par le nez alors que les autres dispositifs utilisent une respiration par la bouche qui n'est pas physiologique. Il permet aussi de réaliser l'EMI pendant les exercices de la réhabilitation pulmonaire donc en statique et en dynamique alors que l'utilisation des deux précédents dispositifs obligent les patients à avoir une position assise et à réaliser l'EMI pendant un moment spécial en dehors de la réhabilitation respiratoire.

Une étude menée par Gonzales-Montesinos *et al.* en 2020 [48] a étudié les différences de ventilation pulmonaire, échanges gazeux et fréquence cardiaque pendant l'exercice avec et sans l'utilisation du dispositif chez des patients atteints de BPCO. Les auteurs ont montré que le dispositif a des effets positifs sur l'hyperinflation dynamique, le schéma respiratoire et l'efficacité de la respiration permettant un meilleur temps inspiratoire et expiratoire. L'utilisation de ce dispositif pourrait permettre d'augmenter les effets de la réhabilitation pulmonaire.

D'autres techniques d'entraînement des muscles inspiratoires existent comme l'hyperpnée normocapnique mais n'ont pas été étudiées dans les articles inclus dans cette revue de littérature.

V.2.1.3. Concernant les modalités d'entraînement

Comme il n'existe pas de consensus sur l'utilité d'un EMI en supplément d'un programme de réhabilitation respiratoire, il n'existe pas non plus de consensus concernant les protocoles d'entraînement. Les auteurs des études ont défini leur protocole comme bon leur semblait.

La durée totale de l'intervention variait de 3 semaines [27][30][34] pour les plus petites interventions à 1 an pour certaines études incluses dans la méta-analyse de Beaumont *et al.* [28]

La durée des séances variait de 14 minutes par séance [31] pour les plus courtes séances jusqu'à 60 minutes pour les patients utilisant le dispositif Feelbreathe®.

L'intensité des séances étaient aussi déterminée par les auteurs. L'intensité de base minimum était de 30% de la P_Imax du patient [24][31][38] jusqu'à maximum 80% de la P_Imax du patient [24] ou jusqu'à la charge maximale tolérée par le patient [28]. L'augmentation de l'intensité de la charge de travail se faisait soit semaine par semaine, selon la perception de l'effort sur une échelle de cotation ou en fonction de l'augmentation de la mesure de la P_Imax du patient. L'intensité est presque toujours basée sur la P_Imax initiale des patients donc elle ne prend pas en compte l'amélioration de celle-ci, sauf dans une étude qui réalisait des mesures de P_Imax toutes les semaines pour modifier l'intensité de l'entraînement. [32][33] Certaines études se sont basées sur les recommandations de l'ATS/ERS qui indique que l'EMI doit commencer à 30% de la P_Imax du patient. Une étude s'est basée sur le protocole d'une étude antérieure [38].

Les programmes de réhabilitation pulmonaire variaient aussi en termes de contenu mais ils comportaient tous un entraînement aérobie soit sur cycloergomètre ou sur tapis roulant comme recommandé. Les différences notables sont la présence ou non d'éducation thérapeutique, de séances de sevrage tabagique et de conseils socio-psychologiques et diététiques.

V.2.2. Concernant les résultats

Toutes les études, qu'elles soient en faveur ou non de l'utilisation de l'EMI dans un programme de réhabilitation pulmonaire ont permis de montrer que l'utilisation de l'EMI permet une amélioration significative de la P_Imax chez les patients.

Une augmentation de la P_Imax pourrait permettre de diminuer le rapport P_I/P_Imax ce qui signifierait le temps d'inspiration nécessaire pour atteindre une pression inspiratoire cible diminuerait. Si le temps inspiratoire diminue pour un même cycle respiratoire alors on peut penser que le temps expiratoire augmenterait ce qui permettrait une meilleure vidange des poumons. Cela pourrait peut-être permettre de diminuer l'hyperinflation, souvent présente chez des patients atteints de BPCO.

L'amélioration de la force des muscles inspiratoires peut aussi permettre de décharger ces muscles. En effet, la dyspnée apparaît lorsqu'il y a une rupture de la balance demande ventilatoire/capacité des muscles respiratoires à y répondre. À cause de ce déséquilibre, les muscles inspiratoires sont incapables de soutenir la demande ventilatoire et les charges importantes qui leur sont appliquées. Si les muscles sont plus forts, ils pourront répondre à cette demande de façon plus adéquate et la perception de la dyspnée pourrait être modifiée.

Les études en faveur de l'EMI n'ont pas étudié les effets de l'EMI sur les fonctions pulmonaires sauf une seule [25] qui a montré une augmentation de la capacité vitale forcée. Les études qui ne sont pas en faveur de l'utilisation de l'EMI ont permis de démontrer qu'aucunes différences significatives n'ont pu être relevées en termes de fonction pulmonaire (capacité inspiratoire, FIV1...).

Concernant la capacité d'exercice, les études en faveur de l'EMI ont toutes conclu que peu importe le groupe observé, la distance parcourue au 6MWT s'est améliorée de façon significative. Qu'ils aient reçu ou non l'EMI, les patients ont en moyenne amélioré leur distance de façon à atteindre la différence minimale cliniquement importante élevée à 30,5 mètres [49]. Si l'EMI en supplément d'un programme de réhabilitation respiratoire a prouvé son efficacité supplémentaire pour augmenter la P_{Imax}, les changements de P_{Imax} n'ont pas été traduits en amélioration de la capacité d'exercice.

Dans les articles contre qui ne recommandent pas l'utilisation de l'EMI en adjuvant à la réhabilitation respiratoire, les résultats sur la capacité d'exercice sont identiques dans toutes les études. Qu'ils aient reçu ou non un EMI, les groupes de patients améliorent la distance parcourue au 6MWT. Cependant les différences ne sont pas significatives entre les groupes recevant l'EMI et les groupes ne le recevant pas. Ainsi, l'intérêt de l'ajout de l'EMI sur la capacité d'exercice est controversé.

La qualité de vie liée à la santé est très importante chez les patients atteints de BPCO car la dyspnée peut être une source de désagrément et d'inconfort. Que ce soit dans les études pour et ou en défaveur de l'utilisation de l'EMI, des améliorations de la qualité de vie ont été enregistrées peu importe l'échelle d'évaluation utilisée. Cependant, aucune modification significative n'ont été prouvées. Les nombreuses échelles de qualité de vie possèdent des items concernant la dyspnée et si aucune des améliorations des scores de qualité de vie n'est significative alors on peut envisager que l'EMI n'a d'une part, pas de bénéfices supplémentaires en termes de qualité de vie et d'une autre part que son effet sur la dyspnée n'est pas non plus significatif.

Concernant la dyspnée, seule une étude [27] a montré une amélioration significative de la perception de la dyspnée mais seulement chez des patients atteints de BPCO avancée avec un VEMS inférieur à 50% de la théorique. L'amélioration était statistiquement significative ($p < 0,05$) mais on peut se demander si les résultats sont vraiment représentatifs puisque l'étude n'a inclus que 34 patients.

Les autres études ont montré des améliorations significatives de la dyspnée dans chaque groupe mais aucune différence significative entre les deux groupes n'ont pu être montrées.

Certaines recommandations indiquaient l'utilisation de l'EMI lorsque les patients atteints de BPCO présentaient une faiblesse des muscles inspiratoires. Dans cette revue de littérature, lorsque des analyses ont été réalisées entre des patients présentant une faiblesse musculaire et des patients ne présentant une faiblesse musculaire, aucune différence significative n'a été démontrée sauf pour l'amélioration de la P_Imax. Cette amélioration de la P_Imax ne s'est pas traduite par une amélioration plus significative de la fonction pulmonaire, de la capacité d'exercice, de la qualité de vie ou de la dyspnée. L'hypothèse selon laquelle les patients présentant une faiblesse des muscles inspiratoires pourraient bénéficier de l'EMI n'est pas soutenue.

Les auteurs parlent de faiblesse des muscles inspiratoires lorsque la P_Imax mesurée est inférieure à 60 cmH₂O. Cette limite provient d'une méta-analyse de Lötters *et al* [50] en 2002 qui a marqué les études sur l'EMI car elle a servi de référence pour les recommandations des sociétés savantes. Dans cette méta-analyse, les auteurs ont démontré que l'EMI apportait des effets positifs sur la dyspnée, sur la force des muscles inspiratoires ainsi que des effets limites sur la capacité à l'exercice. C'est sur l'impact de l'EMI sur les muscles inspireurs que les auteurs ont apporté une nouvelle donnée : les patients qui avaient une P_Imax supérieure à 60 cmH₂O ne présentaient pas d'amélioration de la force des muscles inspiratoires contrairement aux patients ayant une P_Imax inférieure à 60 cmH₂O. C'est sur cette constatation que les sociétés savantes ont déterminé le seuil de 60 cmH₂O pour lesquels les patients bénéficieraient de l'ajout d'un EMI. Le seuil de 60 cmH₂O semble avoir été établi arbitrairement sans avoir été vérifié grâce à un essai contrôlé randomisé de haut niveau de preuve. Aux vues des résultats de cette revue de littérature, l'EMI ne semble pas avoir d'effets bénéfiques supplémentaires sur la dyspnée chez des patients dont la P_Imax est inférieure à 60 cmH₂O.

Les protocoles utilisés dans les différentes études diffèrent de par leur durée, leur fréquence, l'intensité de la charge de travail et du dispositif utilisé. Les protocoles d'IMT les plus longs n'ont pas obtenu de résultats significativement meilleurs que les protocoles les plus courts. On peut alors se poser la question de la nécessité pour les patients de réaliser des programmes d'EMI beaucoup plus longs (plusieurs mois à plusieurs années) alors que les programmes les plus courts (3 semaines) ont des résultats similaires. Le problème posé par des protocoles plus longs concerne l'adhérence des patients, surtout si l'EMI est réalisé à domicile. Ils devront trouver du temps et de la motivation pour faire leurs séances alors qu'ils n'en tireront peut-être aucun bénéfice supplémentaire.

Les études en faveur de l'EMI en supplément se basent sur une amélioration plus importante dans le groupe EMI comparée au groupe contrôle même si la différence n'est pas significative entre les deux groupes. On utilise les valeurs de p pour interpréter des résultats et pour faciliter la prise de décision d'après Herrmann [51]. D'après cet auteur, la valeur de p correspond à « la probabilité de commettre une erreur en affirmant l'existence d'une différence quand en réalité aucune différence n'est présente » Plus la valeur de p est petite, moins le hasard est responsable du résultat observé. Dans la plupart des études, la comparaison entre les résultats des groupes recevant ou non l'EMI est basée sur l'interprétation de cette valeur p. Au lieu de prendre comme référence des tests statistiques, il serait peut-être préférable de prendre en compte la signification clinique. Un résultat sera cliniquement significatif si l'efficacité du dit traitement

induit un changement dans la prise en charge mais aussi si le coût, la disponibilité, l'acceptabilité et la balance bénéfice/risque de la technique est favorable.

Comme indiqué auparavant, il serait plus logique d'évaluer l'utilité de la technique en termes de signification clinique pour nos patients plutôt qu'en signification statistique. Un des points importants concerne la balance bénéfice/risque, pour l'évaluer il faut connaître les potentiels effets secondaires ou effets délétères de la technique.

Même si, à ce jour, aucuns effets délétères n'ont été reporté dans les nombreuses études évaluent l'EMI, certaines études incluses dans cette revue de littérature ont noté l'abandon de certains patients. Ainsi, dans certaines études [24][25][26][30], des patients initialement inclus dans les études ont abandonné. Dans l'étude de Charususin *et al.* [24], 43 patients ont abandonné dont 21 dans le groupe recevant l'EMI et 24 dans le groupe contrôle. Les raisons évoquées sont justes l'abandon des patients ou le manque de motivation à continuer. L'EMI était majoritairement réalisée à domicile ce qui pourrait expliquer l'abandon des patients du groupe effectuant cet entraînement mais cela ne peut pas justifier les abandons du groupe contrôle.

Dans l'étude d'Arnedillo *et al.* [25], sur 20 patients randomisés, 1 patient s'est retiré à cause de l'apparition d'une EABPCO et 3 patients n'ont pas effectué les tests finaux après avoir terminé le protocole. Une seule apparition de BPCO sur les milliers de patients inclus dans les différentes études ne peut pas être mise en lien avec l'EMI. Concernant les patients qui n'ont pas réalisé les tests, ils ont quand même réalisé le protocole donc cela ne semble pas être une question de difficulté ou de refus de continuer le protocole.

De la même manière, l'étude d'Abedi Yekta *et al.* [26], a enregistré l'abandon de 8 personnes qui ne se sont pas présentés pour le suivi.

Dans l'étude de Schultz *et al.* [30], 50 patients ont cessé de participer pour plusieurs raisons mais 5 patients du groupe recevant l'EMI ont arrêté le protocole car ils ne toléraient pas l'EMI.

On peut aussi noter que l'EMI est associé à d'importantes variations de pression ce qui peut engendrer des inquiétudes concernant l'apparition de barotraumatismes.

Avant que le questionnaire sur les possibles bénéfices supplémentaires que pourrait apporter l'entraînement des muscles inspiratoires sur la réhabilitation pulmonaire, ses effets en tant que thérapie individuelle ont été largement étudiés.

La méta-analyse de Lötters [50], de Geddes *et al.* [52] et les méta-analyses incluses dans cette étude [28][36][39] ont mises en évidence que lorsque l'entraînement des muscles inspiratoires est utilisé seul chez des patients BPCO, il permet d'améliorer la force des muscles inspiratoires, la qualité de vie, la capacité d'exercice et la dyspnée [28][39][52]. Seule la méta-analyse de Figueiredo *et al.* [36] indique que malgré l'amélioration de la force des muscles inspiratoires, de la capacité d'exercice fonctionnelle et de la fonction pulmonaire, l'utilisation d'un entraînement n'a pas engendré d'amélioration de la dyspnée et de la qualité de vie.

L'utilisation de l'EMI seul permet d'obtenir des bénéfices significatifs en termes de dyspnée, mais lorsqu'il est ajouté à un programme de réhabilitation pulmonaire, il ne permet pas d'obtenir de bénéfices supplémentaires. On pourrait expliquer cela par le fait que le programme de réhabilitation pulmonaire permet déjà d'améliorer les capacités des muscles inspiratoires, voire

d'atteindre les améliorations maximales possibles. Ainsi, si on ajoute l'EMI, on ne verra pas de différences significatives puisque les améliorations sont déjà atteintes.

Dans un rapport de congrès de Langer *et al.* datant de 2014 [53], les auteurs ont voulu comprendre comment l'utilisation de l'EMI permet de réduire la dyspnée et d'améliorer la capacité d'exercice chez des patients atteints de BPCO. Ils ont conclu que 8 semaines d'entraînement des muscles inspiratoires ont permis de réduire de manière significative les signaux neuraux du diaphragme. Cela pourrait expliquer les améliorations en termes de dyspnée puisque l'entraînement des muscles inspiratoires permet de réduire le signal nerveux envoyé au diaphragme. Cela signifie que la demande ventilatoire est réduite alors que la perception de la dyspnée est basée sur le fait que la demande respiratoire augmente considérablement sans que les muscles inspiratoires puissent y répondre.

Cela pourrait être une piste de réflexion sur les mécanismes des effets de l'EMI.

VI. Conclusion

Le but de cette revue de littérature était d'étudier si l'ajout d'un entraînement des muscles inspiratoires à un programme de réhabilitation respiratoire pouvait apporter des bénéfices en comparaison avec les effets d'un programme de réhabilitation pulmonaire standard chez des patients atteints de BPCO en phase stable.

Les patients atteints BPCO sont orientés vers la réhabilitation pulmonaire dès lors qu'une simple dyspnée ou une intolérance à l'effort apparaît. La dyspnée est un phénomène très complexe, qui ne peut être perçu que par la personne qui l'expérimente. C'est pourquoi, personne n'est plus capable que le patient lui-même pour définir ses troubles, leurs importances et les conséquences qu'ils ont sur leur vie.

Les mécanismes responsables de l'apparition de la dyspnée sont très complexes et il a été démontré que son évaluation doit être complète, selon trois domaines : sensoriel, affectif et l'impact engendré par la dyspnée.

Les programmes de réhabilitation pulmonaire standardisés et recommandés par les sociétés savantes ou les autorités de santé comportent :

- Travail cardio-respiratoire
- Renforcement musculaire
- Éducation thérapeutique du patient
- Soutien psychologique
- Suivi nutritionnel
- Aide au sevrage tabagique
- Kinésithérapie respiratoire

Ces programmes ont montré leur efficacité pour réduire la dyspnée chez des patients atteints de BPCO.

L'entraînement des muscles inspiratoires a quant à lui montré son efficacité en termes d'amélioration de la force et de l'endurance des muscles inspiratoires, de la capacité à l'exercice, de la qualité de vie et de diminution de la dyspnée chez des patients atteints de BPCO. Ces résultats sont issus d'étude évaluant l'utilisation de l'EMI comme seule thérapie, indépendamment d'un programme de réhabilitation respiratoire. Son efficacité dans le cadre d'un programme de réhabilitation respiratoire reste non prouvée.

Les recommandations nationales et internationales ne forment pas un consensus vis-à-vis de l'EMI.

En effet, certaines sociétés savantes recommandent d'inclure l'entraînement des muscles inspiratoires chez des patients présentant une diminution objective de la force des muscles inspiratoires dont le seuil est indiqué à 60 cmH₂O. Cette valeur « cut-off » est issue d'une méta-analyse réalisée en 2002, il y a donc plusieurs dizaines d'années mais les recommandations indiquant ce seuil sont plus récentes. Dans cette méta-analyse, les patients les plus répondeurs à l'entraînement des muscles inspiratoires sont ceux qui présentent une pression inspiratoire maximale inférieure à 60 cmH₂O. Malgré le fait que cette valeur soit apparue au décours de

l'analyse de plusieurs études dans une méta-analyse, elle n'a jamais été démontrée grâce à un essai contrôlé randomisé de haut niveau de preuve.

D'autres recommandations évoquent l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires sans forcément donner des précisions sur les critères d'éligibilité à cette technique et sur les bénéfices qui en découlent.

Pour finir, d'autres recommandations indiquent que l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires en complément d'un programme de réhabilitation pulmonaire standard n'est pas conseillée.

Le but de cette revue de littérature était de déterminer si oui ou non, l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires pouvait apporter des bénéfices supplémentaires à un programme de réhabilitation pulmonaire en termes d'amélioration de la dyspnée qui est le principal motif qui implique la participation des patients souffrant de BPCO à un programme de réhabilitation pulmonaire.

Une des principales causes de la dyspnée à l'effort est l'hyperinflation dynamique. Celle-ci est en majorité provoquée par l'obstruction bronchique présente dans la BPCO. Cette obstruction provoque une limitation du flux d'air ce qui entraîne progressivement une augmentation du volume résiduel du poumon car les patients n'ont pas la possibilité de vidanger complètement le poumon, la limitation du flux rendant la vidange pulmonaire plus longue.

Si on considère que la fréquence respiratoire est identique, une diminution du temps inspiratoire pourrait permettre un allongement du temps expiratoire ce qui permettrait de favoriser la diminution de l'hyperinflation en diminuant le volume résiduel.

L'EMI utilisé seul permet de rendre le diaphragme plus véloce donc il permettrait de réduire le temps inspiratoire et permettrait indirectement d'allonger le temps expiratoire pour ainsi réduire la distension.

Cette revue de littérature aura permis de mettre en avant plusieurs résultats importants dans la prise de décision quant à l'utilisation ou non de l'entraînement des muscles inspiratoires dans un programme de réhabilitation respiratoire.

Lorsque l'entraînement des muscles inspiratoires est proposé en supplément d'un programme de réhabilitation respiratoire, la force et l'endurance des muscles inspiratoires est significativement améliorée en comparaison avec un programme de réhabilitation pulmonaire standard. Malgré cette modification, l'entraînement des muscles inspiratoires ne permet pas d'obtenir des améliorations significatives en termes de fonction pulmonaire, capacité d'exercice, qualité de vie et surtout en termes de dyspnée. L'amélioration de la pression inspiratoire maximale ne se traduit pas par une amélioration de la capacité à l'exercice ou par une diminution de la dyspnée éprouvée par les patients.

Même si l'ajout de l'entraînement des muscles inspiratoires n'a pas apporté de différences significatives, les patients qui ont reçu cette intervention ont amélioré significativement leur pression inspiratoire maximale, leur capacité d'exercice, leur qualité de vie liée à la santé et leur dyspnée. Les études en faveur de l'utilisation de cette technique se sont basées sur cette

observation : si l'ajout de la technique a permis d'obtenir des résultats positifs sans atteindre un seuil de signification clinique, la technique pourra être utilisée.

Dans toutes les études analysées, aucun effet secondaire ou délétère n'a été reporté. Cette technique de rééducation semble être sécuritaire : la balance bénéfice/risque de l'utilisation de cette technique ne pourra basculer que dans le bénéfice.

L'analyse des études et articles inclus dans cette revue de littérature a permis de statuer sur la valeur « cut-off » de 60 cmH₂O dont se sont servi certaines recommandations pour valider l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires. Dans ce cas, l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires chez des personnes présentant ou non une faiblesse des muscles inspiratoires selon cette valeur, n'a montré aucune différence significative en termes d'amélioration de la dyspnée.

L'hypothèse selon laquelle la faiblesse des muscles inspiratoires serait une indication de l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires ne peut pas être soutenue. Ainsi, la présence d'une faiblesse musculaire, si on peut considérer le seuil de 60 cmH₂O comme une limite réelle, n'est pas une indication de l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoire.

Pour en revenir à l'objectif principal, qui était de statuer si l'entraînement des muscles inspiratoires apportait des bénéfices supplémentaires lorsqu'il était ajouté à un programme de réhabilitation pulmonaire, je pourrais conclure que d'après cette revue de littérature, même s'il existe des biais et des limites, l'utilisation de cette technique n'apporte pas d'effets bénéfiques supplémentaires significatifs en termes d'amélioration de la dyspnée chez des patients atteints de BPCO.

La conclusion est difficile à prendre car dans les études les résultats des groupes recevant l'entraînement des muscles inspiratoires sont supérieurs aux résultats des groupes ne recevant pas cette intervention, sans toutefois atteindre le seuil de signification statistique. Si on réfléchit en termes de signification statistique, l'ajout de l'entraînement des muscles inspiratoires n'apporte aucun bénéfice donc il ne sert à rien de l'utiliser. Mais si on réfléchit en termes de signification clinique, l'amélioration supplémentaire observée chez les patients ayant eu recours à l'entraînement des muscles inspiratoires pourrait être bénéfique pour les patients.

Concernant les protocoles, peu importe leur durée, leur fréquence ou l'intensité de la charge de travail, les résultats sont les mêmes : on observe une augmentation significative de la pression inspiratoire maximale chez des patients BPCO bénéficiant d'un entraînement des muscles inspiratoires.

Le dispositif le plus adapté semble être le Feelbreathe[®] parce qu'il permet une respiration plus physiologique par la bouche, qu'il permet de réaliser un entraînement des muscles inspiratoires continus pendant l'exercice et non pas dans une position assise, qui a moins de probabilité de déclencher une dyspnée que l'exercice en lui-même.

L'entraînement des muscles inspiratoires semblent plus efficace lorsqu'il est réalisé sous supervision puisqu'on s'assure qu'il est correctement réalisé et qu'on peut savoir l'adhérence du patient.

Concernant le protocole en lui-même, il semble plus pertinent d'ajouter un protocole d'entraînement des muscles inspiratoires assez court pour obtenir l'adhésion du patient et pouvoir en tirer tous les bénéfices possibles.

Je conclue cette revue de littérature en indiquant que l'utilisation de l'entraînement des muscles inspiratoires associé à un programme de réhabilitation pulmonaire n'apporte pas d'amélioration significative en termes de dyspnée chez des patients BPCO stables. Le seuil indiqué dans certaines recommandations concernant la faiblesse des muscles inspiratoires n'est pas non plus retenu puisque qu'aucune amélioration significative n'a été démontré dans les groupes de patients possédant cette caractéristique.

Une ouverture de cette revue de littérature serait de se demander si l'entraînement des muscles expiratoires associé à l'entraînement des muscles inspiratoires pourrait aider les patients BPCO qui souffrent d'hyperinflation dynamique et statique afin de réduire le temps inspiratoire et obtenir une expiration suffisante pour réussir à vidanger le poumon et ne plus avoir un volume résiduel trop important.

Annexes

Annexe 1 : Échelle Modified Medical Research Council (MMRC)

Annexe 2 : Échelle London Chest Activity of Daily Living (LCADL)

Annexe 3 : Chronic Respiratory Disease Questionnaire (questionnaire CRQ)

Annexe 4 : Questionnaire Saint Georges sur les problèmes respiratoires (questionnaire SGRQ)

Annexe 5 : Questionnaire Multidimensional Dyspnea Profil Questionnaire (MDP)

Annexe 6 : Synthèse des différentes échelles d'évaluation de la dyspnée et leur spécificité

Annexe 7 : Exemple de synthèse des résultats d'étude

Annexe 1 : Échelle Modified Medical Research Council (MMRC)

Cotation	Description
Stade 0	Dyspnée pour les efforts soutenus (montée de 2 étages)
Stade 1	Dyspnée lors de la marche rapide ou en pente
Stade 2	Dyspnée à la marche sur terrain plat en suivant quelqu'un de son âge ou obligeant à s'arrêter pour reprendre son souffle en marchant sur terrain plat à son propre rythme
Stade 3	Dyspnée obligeant à s'arrêter pour reprendre son souffle après quelques minutes ou une centaine de mètres sur terrain plat
Stade 4	Dyspnée au moindre effort de la vie courante (habillage, déshabillage). Trop essoufflé pour quitter le domicile

D'après Fletcher. Standardised questionnaire on respiratory symptoms: a statement. BMJ 1960; 2:1665.

Annexe 2 : Échelle London Chest Activity of Daily Living (LCADL)

L'échelle respiratoire londonienne des activités de la vie quotidienne

Nom, prénom : _____ Date : _____

Date de naissance : _____

Vivez vous seul(e) : oui ☐ non ☐

Veillez lire attentivement et entourez le chiffre correspondant pour chaque activité.

Ce questionnaire est conçu pour déterminer les activités que vous ne pouvez plus faire à cause de votre essoufflement, et pour connaître l'intensité de votre essoufflement pour celles que vous faites toujours. Toutes vos réponses resteront confidentielles.

Si une activité ne s'applique pas à votre quotidien ou que vous ne l'avez jamais faite, veuillez répondre :

0 : je ne le ferais pas de toute façon
Si l'activité est facilement réalisable pour vous, veuillez répondre :

1 : ça ne m'essouffle pas
Si l'activité vous essouffle un peu, veuillez répondre :

2 : je suis modérément essoufflé(e)
Si l'activité vous essouffle beaucoup, veuillez répondre :

3 : je suis très essoufflé(e)
Si vous ne pouvez plus réaliser une activité à cause de votre essoufflement et que vous n'avez personne pour le faire à votre place, répondez :

4 : je ne peux plus le faire
Si quelqu'un d'autre fait une activité à votre place ou vous aide parce que vous êtes trop essoufflé(e) (par exemple : l'aide ménagère vous aide à faire vos courses), veuillez répondre :

5 : j'ai besoin de quelqu'un pour le faire

Indiquez-nous à quel point vous étiez essoufflé(e) ces derniers jours durant la pratique des activités suivantes :

SOINS PERSONNELS :

Se sécher	0	1	2	3	4	5
S'habiller (le haut du corps)	0	1	2	3	4	5
Mettre ses chaussettes, ses chaussures	0	1	2	3	4	5
Se laver les cheveux	0	1	2	3	4	5

ACTIVITES DOMESTIQUES:

Faire son lit	0	1	2	3	4	5
Changer les draps	0	1	2	3	4	5
Laver les carreaux / les rideaux	0	1	2	3	4	5
Faire le ménage/faire les poussières	0	1	2	3	4	5
Laver la vaisselle	0	1	2	3	4	5
Passer l'aspirateur, balayer	0	1	2	3	4	5

ACTIVITES PHYSIQUES :

Monter les escaliers	0	1	2	3	4	5
Se pencher en avant	0	1	2	3	4	5

LOISIRS :

Marcher dans la maison	0	1	2	3	4	5
Mener une vie sociale	0	1	2	3	4	5
Parler	0	1	2	3	4	5

Votre respiration vous limite-t-elle dans vos activités habituelles de la vie quotidienne ?

Beaucoup ☐ un peu ☐ pas du tout ☐

D'après Marc Beaumont. Effet de l'entraînement des muscles inspiratoires sur la dyspnée chez des patients atteints de BPCO, en réhabilitation respiratoire. Médecine humaine et pathologie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2017.

Annexe 3 : Chronic Respiratory Disease Questionnaire (questionnaire CRQ)

Short version of the Chronic Respiratory Disease Questionnaire Self-Administered Standardized (CRQ-SAS 17)

Factor 1: DYSPNEA	Taking care of your basic needs, such as bathing, showering, eating, or dressing (item 2) Walking (item 3) Performing chores, such as housework, shopping or grocery shopping (item 4) Participating in social activities, such as meeting with family, friends (item 5)
Factor 2: EMOTIONAL FUNCTIONING	How much of the time have you felt frustrated or impatient? (item 6) How much of the time did you feel upset, worried, or depressed? (item 12) How much of the time did you feel relaxed and free of tension? (item 14) How much of the time have you felt discouraged or down in the dumps? (item 16) How happy, satisfied, or pleased have you been with your personal life? (item 18) How often have you felt restless, tense, or uptight? (item 20)
Factor 3: DISEASE CONTROL	How often did you have a feeling of fear or panic when you had difficulty getting your breath? (item 7) How much of the time did you feel very confident and sure that you could deal with your respiratory problem? (item 10) How often did you feel upset or scared when you had difficulty getting your breath? (item 19)
Factor 4: FATIGUE	How tired have you felt? (item 8) How much energy have you had? (item 11) How often have you felt low in energy? (item 15) How often have you felt worn out or sluggish? (item 17)

CRQ-SAS: Chronic Respiratory Disease Questionnaire Self-Administered Standardized.

D'après Valero-Moreno, S., Castillo-Corullón, S., Prado-Gascó, V., Pérez-Marín, M., & Montoya-Castilla, I. (2019). Chronic Respiratory Disease Questionnaire (CRQ-SAS): Analysis of psychometric properties. Archivos argentinos de pediatría, 117 3, 149-156.

Annexe 4 : Questionnaire Saint Georges sur les problèmes respiratoires (questionnaire SGRQ)

QUESTIONNAIRE RESPIRATOIRE
du St GEORGE'S HOSPITAL
(6 pages à remplir)

identification patient

NOM	
Prénom	
Sexe	Masculin ☐ Féminin ☐
Date de naissance	

questionnaire

Médecin	
Date	

1ère PARTIE

Les questions qui suivent cherchent à déterminer l'importance des problèmes respiratoires que vous avez pu ressentir **AU COURS DES 12 DERNIERS MOIS**
(Mettez une croix dans la case correspondant à votre réponse à chaque question)

	Presque tous les jours de la semaine (5-7jours)	Plusieurs jours par semaine (2-4jours)	Quelques jours par mois	Seulement pendant une infection respiratoire	Pas du tout
1) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous toussé ?					
2) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous craché ?					
3) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous été essoufflé(e)?					
4) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous eu des crises de sifflement dans la poitrine?					
5) Au cours des 12 derniers mois, combien de fois avez-vous eu de crises graves ?	Plus de 3 crises ☐ 3 crises..... ☐ 2 crises..... ☐ 1 crise..... ☐ Aucune crise..... ☐				
(passez à la question 7 si vous n'avez pas eu de crise grave)					
6) Au cours des 12 derniers mois, combien de temps a duré la crise la plus pénible?	Une semaine ou plus ☐ 3 jours ou plus ☐ 1 ou 2 jours ☐ Moins d'une journée ☐				
7) Au cours des 12 derniers mois, dans une semaine ordinaire, combien avez-vous eu de journées sans grand problème respiratoire?	Aucune journée..... ☐ 1 ou 2 jours ☐ 3 ou 4 jours ☐ Presque tous les jours.. ☐ Tous les jours ☐				
8) Quand vous avez des sifflements, est-ce pire le matin ?	oui..... ☐ non ☐				

2ème PARTIE

SECTION 1 *Mettez une croix dans la case correspondant à votre réponse à chaque question.*

QUE PENSEZ-VOUS DE VOTRE ETAT RESPIRATOIRE ?

- C'est mon plus gros problème..... ☐
- Cela me pose pas mal de problèmes..... ☐
- Cela me pose quelques problèmes..... ☐
- Cela ne me pose aucun problème..... ☐

SI VOUS AVEZ OU SI VOUS AVEZ EU UNE ACTIVITE PROFESSIONNELLE

- Mes problèmes respiratoires m'ont obligé(e) à ne plus travailler..... ☐
- Mes problèmes respiratoires m'empêchent parfois de travailler..... ☐
- Mes problèmes respiratoires ne m'empêchent pas de travailler..... ☐

SECTION 2 VOICI QUELQUES SITUATIONS QUI, HABITUELLEMENT, VOUS ESSOUFFLENT.

Répondez en mettant une croix dans la case correspondant à votre situation ces jours-ci

- | | VRAI | FAUX |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Etre assis au repos..... | ☐ | ☐ |
| Faire sa toilette ou s'habiller..... | ☐ | ☐ |
| Marcher dans la maison..... | ☐ | ☐ |
| Marcher à l'extérieur sur terrain plat..... | ☐ | ☐ |
| Monter un étage..... | ☐ | ☐ |
| Monter une côte..... | ☐ | ☐ |
| Pratiquer une activité physique ou sportive..... | ☐ | ☐ |

SECTION 3 VOICI ENCORE QUELQUES SITUATIONS CONCERNANT VOTRE TOUX ET VOTRE ESSOUFFLEMENT.

Voulez-vous signaler celles qui correspondent à votre état ces jours-ci ?

	VRAI	FAUX
Ca me fait mal quand je tousse.....	☐	☐
Ca me fatigue quand je tousse.....	☐	☐
Je suis essoufflé quand je parle.....	☐	☐
Je suis essoufflé quand je me penche.....	☐	☐
Ma toux ou ma respiration perturbe mon sommeil.....	☐	☐
Je m'épuise vite en faisant une activité quotidienne (par exemple : toilette, habillage, ménage).....	☐	☐

SECTION 4 VOICI D'AUTRES EFFETS QUE VOS PROBLÈMES RESPIRATOIRES PEUVENT ENTRAÎNER CHEZ VOUS.

Voulez-vous signaler celles qui s'appliquent à vous ces jours-ci ?

	VRAI	FAUX
Devant les autres je me sens gêné de tousser ou d'être essoufflé.....	☐	☐
Mes problèmes respiratoires gênent ma famille, mes amis ou mon voisinage.....	☐	☐
J'ai peur ou je panique quand je n'arrive plus à respirer	☐	☐
Je sens que je ne peux pas contrôler ma respiration	☐	☐
Je pense que mon état respiratoire ne va pas s'améliorer	☐	☐
Je suis devenu un grand malade en raison de mon état respiratoire	☐	☐
L'exercice physique est dangereux pour moi.....	☐	☐
Tout me demande un effort.....	☐	☐

SECTION 5 CETTE SECTION CONCERNE VOTRE TRAITEMENT (Médicaments, aérosols, oxygène, kinésithérapie...)

	VRAI	FAUX
Mon traitement ne m'aide pas beaucoup.....	☐	☐
Devant les autres, je me sens gêné de suivre mon traitement.....	☐	☐
Mon traitement a des effets désagréables chez moi.....	☐	☐
Mon traitement me gêne beaucoup dans ma vie de tous les jours.....	☐	☐

**SECTION 6 CETTE SECTION CONCERNE LES ACTIVITES QUOTIDIENNES
QUI POURRAIENT ETRE GENEES PAR VOTRE RESPIRATION**

	VRAI	FAUX
J'ai besoin de beaucoup de temps pour faire ma toilette ou pour m'habiller.....	☐	☐
Je ne peux pas prendre un bain ou une douche, ou alors j'ai besoin de beaucoup de temps pour le faire.....	☐	☐
Je marche plus lentement que les autres ou je m'arrête pour me reposer.....	☐	☐
Des travaux comme le ménage me prennent beaucoup de temps ou je dois m'arrêter pour me reposer.....	☐	☐
Si je monte un étage, je dois aller lentement ou m'arrêter.....	☐	☐
Si je me dépêche ou si je marche vite, je dois m'arrêter ou ralentir.....	☐	☐
Ma respiration rend pénible les activités telles que monter une côte, porter des objets en montant un étage, effectuer des travaux légers de jardinage, danser, jouer aux boules.....	☐	☐
Ma respiration rend pénible les activités telles que porter des charges lourdes, bêcher le jardin, déblayer la neige, faire du jogging ou marcher rapidement, jouer au tennis, nager	☐	☐
Ma respiration rend pénible les activités telles que les travaux manuels lourds, la course à pied, le vélo, la natation rapide ou les sports de compétition.....	☐	☐

**SECTION 7 DECRIVEZ AVEC QUELLE INTENSITE VOTRE ETAT
RESPIRATOIRE RETENTIT D'ORDINAIRE SUR VOTRE VIE
QUOTIDIENNE ?**

	VRAI	FAUX
Je ne peux pratiquer aucun sport.....	☐	☐
Je ne peux pas sortir pour me distraire ou me détendre.....	☐	☐
Je ne peux pas sortir faire les courses.....	☐	☐
Je ne peux pas faire le ménage ou bricoler.....	☐	☐
Je ne peux pas m'éloigner beaucoup de mon lit ou de mon fauteuil.....	☐	☐

Annexe 5 : questionnaire Multidimensional Dyspnea Profil Questionnaire (MDP)

Profil multidimensionnel de la dyspnée page 1/4

nom/code _____ date et heure

PROFIL MULTIDIMENSIONNEL DE LA DYSPNÉE

Texte de présentation pour la première utilisation :

Ce questionnaire a pour objet de nous aider à comprendre comment vous percevez et ressentez votre respiration. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. Nous souhaitons savoir ce que vous avez à nous dire au sujet de votre respiration.

Nous allons tout d'abord vous demander à quel point vous trouvez votre respiration désagréable. Nous parlerons ensuite de l'intensité (la force) de vos sensations respiratoires. Pour vous aider à différencier le caractère désagréable et l'intensité, imaginez que vous écoutez de la musique, par exemple à la radio. Quand le son augmente, cela peut être plus ou moins désagréable. L'intensité de la sensation correspond au volume sonore. Quant au caractère désagréable, il peut apparaître quand le son augmente ou exister même si le son est faible. Par exemple, une musique que vous détestez sera désagréable même si le volume est faible et deviendra de plus en plus désagréable si le volume augmente. Au contraire, une musique qui vous plaît restera agréable même si elle est forte.

Échelle A1 (affect)

Utilisez cette échelle pour évaluer le **caractère désagréable ou l'inconfort** de vos sensations respiratoires, le **degré de gêne** que vous ressentez [avez ressenti] en respirant.

Veuillez prendre en considération la période/l'événement suivant(e) : _____

← ← 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
AGRÉABLE NI AGRÉABLE INSUPPORTABLE
NI GÉNANT

Profil multidimensionnel de la dyspnée page 2/4

nom/code _____ date et heure

Choix QS (qualificateurs sensoriels)

Dans le tableau ci-dessous, chaque ligne regroupe des propositions ayant un sens similaire.

Étape 1 : Cochez chaque ligne s'appliquant à vos sensations respiratoires pendant _____ (indiquez la période concernée).

Étape 2 : Choisissez ensuite *une seule* ligne, celle qui s'applique le mieux à vos sensations respiratoires.

Sélectionnez les lignes contenant au moins <i>UNE</i> proposition qui s'applique.	Étape 1		Étape 2
	NE S'APPLIQUE PAS	S'APPLIQUE	S'APPLIQUE LE MIEUX
Je dois fournir un travail <i>ou</i> un effort musculaire pour respirer.			
Je manque d'air <i>ou</i> j'étouffe <i>ou</i> je sens que j'ai besoin d'air.			
J'ai la sensation que ma poitrine et mes poumons sont serrés <i>ou</i> comprimés.			
Je dois me concentrer <i>ou</i> faire un effort mental pour respirer.			
Je respire fort.			

Évaluez maintenant sur les échelles suivantes l'intensité des sensations respiratoires que vous éprouvez [avez éprouvées] (qu'elles aient été agréables ou désagréables. En effet, une sensation peut, comme une musique, être forte sans être désagréable).

Veuillez prendre en considération la période/l'événement suivant(e) : _____

Évaluez toutes les lignes contenant au moins UNE proposition qui s'applique.	JE N'AI PAS ÉPROUVÉ CETTE SENSATION										LA PLUS FORTE INTENSITÉ IMAGINABLE	
Je dois fournir un travail <i>ou</i> un effort musculaire pour respirer.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Je manque d'air <i>ou</i> j'étouffe <i>ou</i> je sens que j'ai besoin d'air.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
J'ai la sensation que ma poitrine et mes poumons sont serrés <i>ou</i> comprimés.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Je dois me concentrer <i>ou</i> faire un effort mental pour respirer.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Je respire fort.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Autre*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

*Si nécessaire, vous pouvez ajouter des descriptions supplémentaires de vos sensations respiratoires.

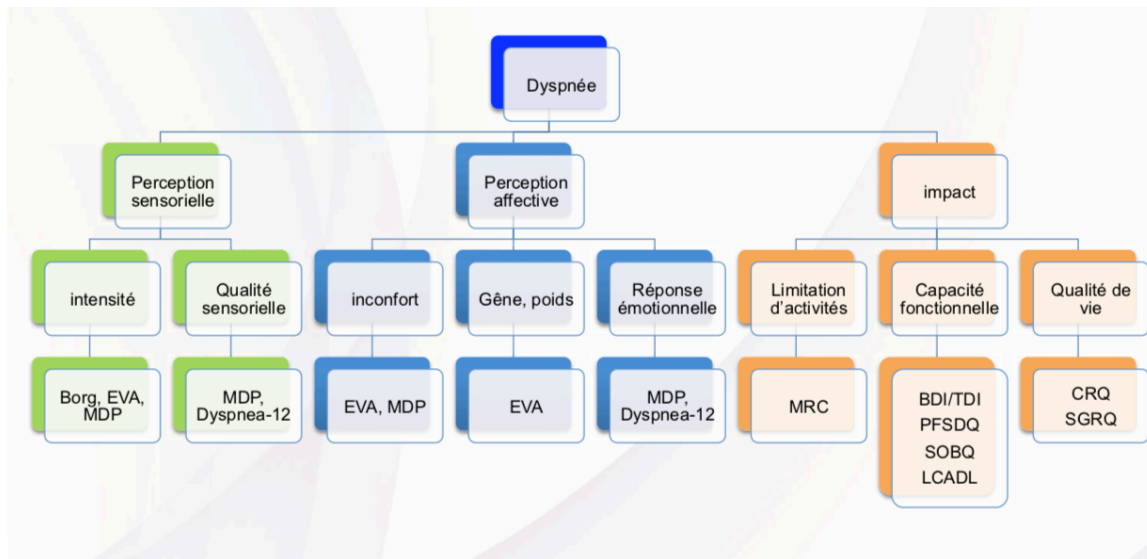
Lorsque vous sentez que vous ne respirez pas normalement, il est possible que vous éprouviez des émotions ou des « sentiments ». À l'aide des échelles ci-dessous, veuillez indiquer comment vous vous êtes senti(e) face à vos sensations respiratoires – entourez zéro pour les sentiments que vous n'avez pas éprouvés.

Veuillez prendre en considération la façon dont vous vous êtes senti(e) pendant la période/l'événement suivant(e) : _____

	JE N'AI PAS ÉPROUVÉ CE SENTIMENT										J'AI ÉPROUVÉ CE SENTIMENT DE LA PIRE FAÇON IMAGINABLE	
Déprimé(e)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Anxieux(se)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Frustré(e)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
En colère	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Effrayé(e)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Autre ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

D'après Marc Beaumont. Effet de l'entraînement des muscles inspiratoires sur la dyspnée chez des patients atteints de BPCO, en réhabilitation respiratoire. Médecine humaine et pathologie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2017.

Annexe 6 : Synthèse des différentes échelles d'évaluation de la dyspnée et leur spécificité



D'après Marc Beaumont. Effet de l'entraînement des muscles inspiratoires sur la dyspnée chez des patients atteints de BPCO, en réhabilitation respiratoire. Médecine humaine et pathologie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2017.

Annexe 7 : exemple de synthèse des résultats des études

AUTEURS	ANNÉE	OBJECTIF DE L'ÉTUDE	PROTOCOLE	RÉSULTATS
Croitoru et al [23]	2013	Évaluer les résultats de l'EMI ajouté à un entraînement général à l'exercice chez des patients atteints de BPCO	Étude cas-témoin <u>Groupe témoin</u> : réhabilitation respiratoire en ambulatoire pendant 8 semaines <u>Groupe d'étude</u> : réhabilitation pulmonaire + EMI quotidiennement à domicile	Améliorations significatives de la P _I max, du 6MWT, du score mMRC, du score au SGRQ, du score HADS dans les deux groupes Plus grande amélioration de la P _I max, de la dyspnée et de la QDV dans le groupe d'étude
Charususin et al [24]	2018	Évaluer les effets de l'EMI non-supervisé mais contrôlé à un programme de réhabilitation respiratoire chez des patients BPCO	RCT Groupe intervention : EMI + PR Groupe contrôlé : EMI fictive + PR	Pas de différence significative dans l'amélioration du 6MWT entre les deux groupes Augmentation de l'endurance sur vélo, de la P _I max significativement plus importante dans le groupe intervention
Arnedillo et al [25]	2020	Évaluer les effets d'un nouveau dispositif pour l'EMI ajouté à un programme de RP supervisé	Groupe RP + FB Groupe RP + ONB Groupe témoin	Augmentation significative de la P _I max dans le groupe FB Augmentation significative de la distance au 6MWT dans les groupes FB + ONB
Abedi Yekta et al [26]	2019	Déterminer l'efficacité des exercices aérobies classiques et de l'EMI	Groupe EMI Groupe exercices aérobies Groupe EMI + aérobies Groupe contrôle	Groupe EMI + aérobie a obtenu une plus grande amélioration de la P _I max sans atteindre le seuil significatif de comparaison avec les autres groupes
Beaumont et al [27]	2015	Démontrer l'efficacité de l'EMI chez des patients BPCO avec une P _I max préservée admis dans un	Groupe PR Groupe PR + EMI	Pas de bénéfices supplémentaires de l'EMI sur

		centre de réhabilitation pulmonaire		la dyspnée ou les paramètres fonctionnels
Beaumont et al [29]	2018	Démontrer que l'EMI réalisé pendant la RP est associée à une amélioration de la composante sensorielle de la dyspnée chez des patients BPCO sévères et très sévères	Groupe PR + EMI Groupe PR	La diminution de la dyspnée n'est pas statistiquement différente entre les 2 groupes L'amélioration de la QDV n'est pas statistiquement différente Aucun bénéfice supplémentaire de l'IMT pendant la RP dans le sous-groupe présentant une faiblesse des muscles inspiratoires
Schultz et al [30]	2018	Démontrer que l'EMI ajouté en routine à un programme de RP de 3 semaines améliore la PImax, la fonction pulmonaire, la dyspnée, la capacité fonctionnelle et la qualité de vie	Groupe PR + EMI Groupe PR + EMI fictive	Les deux groupes ont connu une amélioration de la PImax et le groupe intervention a connu une amélioration plus significative Pas d'améliorations significatives en termes de fonction pulmonaire, de dyspnée, ou de capacité fonctionnelle dans le groupe PR + EMI
Wang et al [31]	2017	Évaluer de manière exhaustive si la combinaison entraînement sur cycloergomètre + EMI apporte des avantages supplémentaires par rapport à l'entraînement sur cycloergomètre (CET) seul	Groupe CET + EMI Groupe CET Groupe témoin	Pas de différence significative en termes de force musculaire, dyspnée, fonction pulmonaire entre les groupes CET + EMI et CET seul

Bibliographie

- [1] OMS. [En ligne]. OMS [Consulté le 11 novembre 2020]. Disponible sur <https://www.who.int/respiratory/copd/fr/>.
- [2] INSERM. [En ligne]. INSERM, 19 juin 2020 [Consulté le 11 novembre 2020]. Disponible sur <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/bronchopneumopathie-chronique-obstructive-bpco>.
- [3] Santé Publique France. [En ligne]. Santé Publique France, 27 juin 2019 [Consulté le 11 novembre 2020]. Disponible sur <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-et-infections-respiratoires/bpco-et-insuffisance-respiratoire-chronique>.
- [4] Fondation du souffle. Paris : Fondation du souffle ;2017. [mise à jour le 3 avril 2017] épidémiologie [En ligne] Disponible : <https://www.lesouffle.org/poumons-sante/maladies-du-poumon/bpco-broncho-pneumopathie-chronique-obstructive/epidemiologie/>
- [5] Haute Autorité de Santé. [En ligne]. HAS, 30 novembre 2020 [Consulté le 11 novembre 2020]. Disponible https://www.has-sante.fr/jcms/c_1242507/fr/guide-du-parcours-de-soins-bronchopneumopathie-chronique-obstructive-bpco.
- [6] B Parshall M, M Schwartzstein R, Adams L, B Hanzett R, L Manning H, Bourbeau J, *et al*. An official American Thoracic Society statement : update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2012 Feb 15;185(4):435-52.
- [7] American Thoracic Society. Dyspnea. Mechanismes, assessment, and management : a consensus statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999 Jan;159(1):321-40.
- [8] Beaumont M, Le Ber C. place du kinésithérapeute dans le traitement de la dyspnée. *Méd. Intensive Réa*. 2017 ; 26 :21-30.
- [9] Crisafulli E, M Clini E. Measures of dyspnea in pulmonary rehabilitation. *Multidiscip Respir Med*. 2010;5(3):202-210.
- [10] Roche N, Burgel P-R, Chabot F, Chaouat A, Deslée G, Devillier P, *et al*. Bronchopneumopathie chronique obstructive. In : *La Pneumologie fondée sur les preuves*. **Paris** : Margaux Orange ; 2017, p. 179-205.
- [11] Soumagne T, Degano B. La distention pulmonaire dans la bronchopneumopathie chronique obstructive : physiopathologie, conséquences sur la mécanique ventilatoire et stratégies thérapeutiques. *La Lettre du Pneumologue*. 2014 ;XVII(5) : 170-177.
- [12] Similowski T, Couillard A. Dyspnée d'effort : de la distension à la sensation. *Rev Mal Respir Actual*. 2010 ;2 : 642-646.

[13] Cassart M, Pettiaux N, Genevois PA, Paiva M, Estenne M. Effect of Chronic Hyperinflation on Diaphragm Length and Surface Area. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997 Aug;156(2 Pt 1):504-8.

[14] Vidéo → à demander à la documentaliste

[15] Gea J, Agustí A, Roca J. Pathophysiology of muscle dysfunction in COPD. *J Appl Physiol*. 2013;114(9): 1222-1234.

[16] Barreiro E, Gea J. Respiratory and Limb Muscle Dysfunction in COPD. *COPD*. 2015;12(4): 413-426.

[17] Ottenheijm CA, Heunks LM, Dekhuijzen PN. Diaphragm muscle fiber dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: toward a pathophysiological concept. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007 Jun 15;175(12):1233-40.

[18] American Thoracic Society/European Respiratory Society. [en ligne] : ATS/ERS ; 2013. Key Concepts and Advances in Pulmonary Rehabilitation.

[19] GOLD Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. [en ligne] : GOLD ; 2020. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: 2020 report.

[21] Société de Pneumologie de Langue Française. Recommandations pour la pratique clinique : prise en charge de la BPCO. *Rev. Mal. Resp.* ; 2010 : 27. 522-548.

[21] Gouille P, Reyckler G, Cabillic M. Kinésithérapie du patient atteint de BPCO. *La Lettre du Pneumologue*. 2010 ; XIII (3) : 127-133.

[22] Bolton CE, Bevan-Smith EF, Blakey JD, *et al*. British Thoracic Society guideline on pulmonary rehabilitation in adults. *Thorax*. 2013 ; 68 : ii1-ii30.

[23] Croitoru A, Ionita D, Pele I, *et al*. Inspiratory muscle training with threshold loading in a rehabilitation program of COPD patients. *European Respiratory Journal*. 2013 ; 42 : 3732.

[24] Charususin N, Gosselink R, Decramer M, Demeyer H, McConnell A, Saey D, *et al*. Randomised controlled trial of adjunctive inspiratory muscle training for patients with COPD. *Thorax*. 2018 ;73(10):942-950. PMID: 29914940.

[25] Arnedillo A, Gonzalez-Montesinos JL, Fernandez-Santos JR, Vaz-Pardal C, España-Domínguez C, Ponce-González JG, *et al*. Effects of a Rehabilitation Programme with a Nasal Inspiratory Restriction Device on Exercise Capacity and Quality of Life in COPD. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(10):3669. PMID: 32456097

- [26] Abedi Yekta AH, Poursaeid Esfahani M, Salehi S, Hassabi M, Khosravi S, Kharabian S, *et al.* Assessment of the Effects of Inspiratory Muscle Training (IMT) and Aerobic Training on the Quality of Life of Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Tanaffos*. 2019;18(3):223-229. PMID: 32411262; PMCID: PMC7210575.
- [27] Beaumont M, Mialon P, Le Ber-Moy C, Lochon C, Péran L, Pichon R, *et al.* Inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: A randomized trial. *Chron Respir Dis*. 2015;12(4):305-12. PMID: 26170421.
- [28] Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reyckler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J*. 2018;12(7):2178-2188. PMID: 29665262.
- [29] Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reyckler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J*. 2018;12(7):2178-2188. PMID: 29665262.
- [30] Schultz K, Jelusic D, Wittmann M, Krämer B, Huber V, Fuchs S, *et al.* Inspiratory muscle training does not improve clinical outcomes in 3-week COPD rehabilitation: results from a randomised controlled trial. *Eur Respir J*. 2018;51(1):1702000. PMID: 29371382.
- [31] Wang K, Zeng GQ, Li R, Luo YW, Wang M, Hu YH, *et al.* Cycle ergometer and inspiratory muscle training offer modest benefit compared with cycle ergometer alone: a comprehensive assessment in stable COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2017;12:2655-2668. PMID: 28919733; PMCID: PMC5593419.
- [32] Charususin N, Gosselink R, Decramer M, McConnell A, Saey D, Maltais F, *et al.* Inspiratory muscle training protocol for patients with chronic obstructive pulmonary disease (IMTCO study): a multicentre randomised controlled trial. *BMJ Open*. 2013;3(8):e003101. PMID: 23921069; PMCID: PMC3740252.
- [33] Charususin N, Gosselink R, Decramer M, McConnell A, Demeyer H, Saey D, *et al.* A multicenter randomizer controlled trial of inspiratory muscle training for patients with chronic obstructive pulmonary disease (IMTCO study). *Eur Respir J*. 2017;50(61):OA2925.
- [34] Gloeckl R, Schneeberger T, Jarosch I, Charususin N, Langer D, Kenn K, *et al.* Complementary inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in COPD patients with inspiratory muscle weakness – A subgroup analysis of a randomized, controlled trial (IMTCO study). *Eur Respir J*. 2017;50:PA3277.
- [35] Chen X, Luo P, Yitai C, Huang Y, Wang K, Hu Y, *et al.* Effects of Combined Cycle Ergometer and Inspiratory Muscle Training in Patients with Stable Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020;201:A2861.
- [36] Figueiredo RIN, Azambuja AM, Cureau FV, Sbruzzi G. Inspiratory Muscle Training in COPD. *Respir Care*. 2020;65(8):1189-1201. PMID: 32209709.
- [37] Polkey MI, Ambrosino N. Inspiratory muscle training in COPD: can data finally beat emotion? *Thorax*. 2018;73(10):900-901. PMID: 29945956.

- [38] Majewska-Pulsakowska M, Wytrychowski K, Rożek-Piechura K. The Role of Inspiratory Muscle Training in the Process of Rehabilitation of Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Adv Exp Med Biol*. 2016;885:47-51. PMID: 26801148.
- [39] Gosselink R, De Vos J, van den Heuvel SP, Segers J, Decramer M, Kwakkel G. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *Eur Respir J*. 2011;37(2):416-25. PMID: 21282809.
- [40] Ambrosino N. Inspiratory muscle training in stable COPD patients: enough is enough? *Eur Respir J*. 2018;51(1):1702285. PMID: 29371389.
- [41] Polkey MI, Moxham J, Green M. The case against inspiratory muscle training in COPD. *Against. Eur Respir J*. 2011;37(2):236-7. PMID: 21282808.
- [42] Haute Autorité de Santé. [En ligne]. HAS, Avril 2013 [Consulté le 6 mars 2021]. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique [en ligne] Disponible sur https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf
- [43] Organisation Mondiale de la Santé. Genève : OMS ;2017. [mise à jour le 1^{er} décembre 2017] Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) [En ligne] Disponible : [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd))
- [44] Ketata W, Rekik W.K, Ayadi H, Kammoun S. Viellissement de l'appareil respiratoire : modifications anatomiques et conséquences physiologiques. *Revue de Pneumologie Clinique*. 2012 ;68 :282-289.
- [45] Sørensen D, Christensen ME. Behavioural modes of adherence to inspiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease: a grounded theory study. *Disabil Rehabil*. 2019;41(9):1071-1078. PMID: 29303008
- [46] Menzes KKP, Nascimiento LR, Avelino PR, Polese JC, Salmela LFT. A Review on Respiratory Muscle Training Devices. *J Pulm Respir Med*. 2018 ;8 :2.
- [47] Alwohayed NS, Ali Alenazi B, Ali Albuainain F, Mahdoudh Alrayes M. A Comparison between Two Types of Resistive Inspiratory Muscle Training Devices in Normal Subjects in Regards to Pulmonary Functions *Int J Phys Med Rehabil*. 2018;6:1.
- [48] Gonzalez-Montesinos JL, Arnedillo A, Fernandez-Santos JR, Vaz-Pardal C, García PA, Castro-Piñero J, Ponce-González JG. A New Nasal Restriction Device Called FeelBreathe® Improves Breathing Patterns in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients during Exercise. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(13):4876. PMID: 32640755; PMCID: PMC7370091.
- [49] Bohannon RW, Crouch R. Minimal clinically important difference for change in 6-minute walk test distance of adults with pathology: a systematic review. *J Eval Clin Pract*. 2017;23(2):377-381. PMID: 27592691.

[50] Lotters F, van Tol B, Kwakkel G, Gosselink R. Effects of controlled inspiratory muscle training in patients with COPD: a meta-analysis. *Eur Respir J*. 2002;20(3):570–7.

[51] Herrmann F. Statistiquement significatif : bénéfique pour le patient ? *Rev Med Suisse*. 2015;11:308-309.

[52] Geddes EL, O'Brien K, Reid WD, Brooks D, Crowe J. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review. *Respir Med*. 2008;102(12):1715-29. PMID: 18708282.

Associées à un programme de réadaptation pulmonaire, les techniques spécifiques du diaphragme permettent-elles une amélioration plus significative de la dyspnée chez les patients atteints d'une maladie pulmonaire obstructive chronique stable ?

Introduction Les patients atteints de BPCO sont orientés vers une réhabilitation pulmonaire comprenant un travail cardiopulmonaire et un travail de renforcement global. Les recommandations ne préconisent pas toutes un entraînement des muscles inspiratoires (EMI) associé à un programme de réhabilitation pulmonaire afin d'améliorer la dyspnée, les avantages n'étant pas certains.

Objectif L'objectif de cette revue de littérature était premièrement de déterminer l'efficacité de l'EMI sur les capacités du diaphragme puis d'évaluer son impact sur l'amélioration de la dyspnée lorsqu'il est associé à un programme de réhabilitation pulmonaire (RP).

Méthode Cette revue de littérature a été conduite sur les bases de données PubMed, Cochrane et PEDro. La période de recherche était étendue de 2010 à 2020.

Résultats Dix-neuf études ont été incluses dans cette revue de littérature. La dyspnée (Borg) était réduite après l'EMI. La qualité de vie (Questionnaire de Saint George), la capacité d'exercice (test de marche des 6 minutes) et la pression inspiratoire maximale étaient améliorées après l'EMI. Pendant la RP, aucun effet bénéfique supplémentaire de l'EMI n'a été trouvé.

Conclusion Les résultats montrent qu'il n'existe pas d'effet bénéfique supplémentaire de l'EMI associé à la RP comparé à la RP seule.

Mots-clés : BPCO ; diaphragme ; muscle inspiratoire ; réhabilitation pulmonaire ; dyspnée.

Combined with a pulmonary rehabilitation program, do specific diaphragm techniques result in a more significant improvement in dyspnea in patients with stable chronic obstructive pulmonary disease?

Background Patients with COPD are referred for pulmonary rehabilitation including cardiopulmonary and global strengthening work. Not all the guidelines refer to inspiratory muscle training (IMT) in combination with a pulmonary rehabilitation program to improve dyspnea, as the benefits are not certain.

Objectives The objective of this literature review was first to determine the effectiveness of IMT on diaphragm capacities and then to evaluate its impact on the improvement of dyspnea when combined with a pulmonary rehabilitation (PR) program.

Methods This literature review was conducted on the PubMed, Cochrane and PEDro databases. The searching period extended from 2010 to 2020.

Results Nineteen studies were included in this literature review. Dyspnea (Borg scale) was decreased after IMT. Quality of life (Saint George's questionnaire), exercise capacity (6 minutes walking test) and maximal inspiratory pressure were increased after IMT. During PR, no added effect of IMT was found.

Conclusion The findings show evidence that there is no additional positive effect of IMT added to PR compared to PR alone.

Keywords: COPD; diaphragm; inspiratory muscle; pulmonary rehabilitation; dyspnea.