

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EFFETS D'UN PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT PAR
ÉLECTROSTIMULATION MUSCULAIRE (ÉSM) SUR LA CAPACITÉ
FONCTIONNELLE DES PATIENTS ATTEINTS DE MALADIE PULMONAIRE
OBSTRUCTIVE CHRONIQUE (MPOC)

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR :
MARILYN HOULE PÉLOQUIN

DÉCEMBRE 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement n°8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

Remerciements

L'écriture de ce mémoire de maîtrise et l'accomplissement de tout le processus que requiert cette étude n'auraient pas été possibles ou auraient été totalement différents sans la participation de plusieurs acteurs, qui ont su faire la différence.

Tout d'abord, je tiens à remercier Claude Poirier pour m'avoir donné ma première chance et d'avoir cru en moi, et ce, du début à la fin. Je le remercie d'avoir embarqué dans l'aventure dès le premier jour et de m'avoir épaulé du mieux qu'il a pu. Mes ambitions sont marquées d'une certaine façon par ses influences. Je ne peux passer sous le silence tout le travail d'une infirmière au cœur d'or et possédant un dévouement sans pareil. Sans l'aide quotidienne, la considération, l'implication et le support de Lyse Millette, je n'aurais jamais pu accomplir un tel projet. Elle m'a épaulé jusqu'au dernier moment et je tiens à la remercier, sincèrement. Enfin, un merci énorme à Lin Provost-Dansereau qui a cru au projet et qui a permis la tenue de l'expérimentation. Sans son aide, son dévouement remarquable, son énorme disponibilité et sa passion pour le sujet, ce projet n'aurait pas pu être réalisé. Merci pour ta générosité et ton temps précieux! Merci aussi à Marie-Lou Phaneuf qui a su répondre à l'appel à la dernière minute et qui m'a donné de son temps précieux sans aucune hésitation. Merci d'avoir toujours été présente et cela peu importe les circonstances!

Un merci des plus spéciaux s'adresse à ma famille qui n'a jamais cessé de croire en mes capacités. Mes parents, Hélène et Jean, mes sœurs Ly-Ann et Charlène ont été d'une compréhension inébranlable et m'ont supporté de façon inconditionnelle. Ils ont toujours été là pour moi, dans les meilleurs et dans les pires moments. L'écoute qu'ils m'ont conférée, leur confiance en mes capacités et leur volonté aussi grande que la mienne m'a permis de passer au travers de ce long processus. Ma famille définit qui je suis et fait ce que je suis aujourd'hui.

Je désire offrir mes remerciements les plus sincères à mon copain Simon, qui a cru en moi quand je n'y croyais plus, qui a écouté mes innombrables incompréhensions de la vie, mes questionnements perpétuels et qui a été partie prenante de ce processus et ce, du début à la fin. Merci Simon d'être ce que tu es, de m'avoir supportée comme personne ne l'aurait aussi bien fait. Tes qualités personnelles sont inégalables et je te remercie pour tout, et ce, sincèrement. Sans toi, je n'aurais pas tenu le coup.

Je remercie aussi ceux que je considère comme étant ma deuxième famille. Merci Annie d'avoir joué à la directrice de maîtrise et de m'avoir supportée, encouragée et de m'avoir écouté sans cesse me répéter! Tu as cru en mes capacités et je t'en remercie grandement. Tu m'auras permis de tenir le coup et sans toi, ce ne serait jamais pareil. Merci Jonathan de m'avoir divertie, de m'avoir fait comprendre que ce n'était pas toujours la fin du monde quand une embûche se présentait à ma porte, et ce, peu importe le moment de la journée! Tu as toujours été là pour moi et tes paroles ont toujours su me faire avancer. Merci Simon de m'avoir répété sans cesse que c'était possible, d'avoir fait un suivi quotidien serré sur mon plan d'action, de m'avoir écoutée débâter sur le sentiment de compétence et de m'avoir si souvent ramené à l'ordre! Merci d'être ce que vous êtes. Je remercie aussi la grande famille de l'ADEESE-UQAM avec qui j'ai partagé, pendant ce processus, des moments inoubliables et qui ont contribué aussi, à la personne que je suis aujourd'hui.

Un grand merci à Alain-Steve Comtois, mon directeur de maîtrise, pour son aide et son support tout au long de cette étude. Son enthousiasme est contagieux. Je le remercie de m'avoir aidée et supportée à tout moment. Merci d'avoir cru en moi et d'avoir su répondre à mes nombreuses interrogations!

Enfin, je dédie ce mémoire à tous mes patients qui ont été la source de mon inspiration et le cœur de ma motivation tout au long de cette étude. J'y ai mis tout mon cœur et toute ma passion et je le dois, en grande partie, à ces derniers. Je crois en l'amélioration

de la qualité de vie de ces patients et c'est ce qui m'a animée lors de la production de cette étude. La pertinence sociale m'a permis de tenir la route dans les moments les plus difficiles et j'ai toujours gardé en tête les raisons qui motivaient la pertinence de produire cette étude. Je remercie également tous les sujets qui ont bien voulu donner leur corps à la science et qui ont cru à ce projet !

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	viii
INTRODUCTION	1
I. PROBLÈME	4
II. HYPOTHÈSE	5
III. REVUE DE LITTÉRATURE	6
3.1 Physiologie Respiratoire.....	6
3.2 La Maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) – Mise en contexte.....	9
3.2.1 MPOC - Réadaptation pulmonaire par l'activité physique	14
3.3 Électrostimulation (ÉSM).....	17
3.3.1 Pertinence de l'és m en recherche – Mise en contexte	18
3.3.2 Fonctionnement de l'ÉSM.....	18
3.3.3 Le courant utilisé	21
3.3.4 Paramètres d'entraînement en ÉSM	21
3.3.5 Avantages de l'ÉSM.....	23
3.3.6 MPOC et ÉSM.....	24
IV. MÉTHODOLOGIE	27
4.1 Sujets	27
4.1.1 Critères d'exclusion.....	28
4.2 Matériels utilisés.....	28
4.3 Protocole de recherche – Procédure expérimentale.....	29
4.4 Protocole d'électrostimulation musculaire	30
4.5 Mesures pré et post entraînement	34
4.6 Analyses statistiques.....	35
V. RÉSULTATS	36
5.1 Description des sujets.....	36
5.2 Fonction pulmonaire des sujets	38
5.3 Tests pré et post programme d'électrostimulation musculaire (ÉSM).....	39

5.4 Fréquences cardiaques (FC) lors de trois séances (1re, 7 ^e et 15 ^e) d'électrostimulation musculaire (ÉSM) des quadriceps.....	40
5.5 Fréquences cardiaques (FC) lors de trois séances (1re, 7 ^e et 15 ^e) d'électrostimulation musculaire (ÉSM) des mollets	43
5.6 Tension artérielle (TA) lors de trois séances d'électrostimulation musculaire (ÉSM) des quadriceps (1re, 7 ^e et 15 ^e)	46
5.7 Tension artérielle (TA) lors de trois séances d'électrostimulation musculaire des mollets (1re, 7 ^e Et 15 ^e).....	49
VI. DISCUSSION.....	53
6.1 Analyse des tests pré et post programme	54
6.1.1 Test de marche de 6 minutes	54
6.1.2 Test de 1RM au <i>leg press</i>	57
6.1.3 Force de préhension.....	59
6.1.4 Mesures anthropométriques (tour de taille, poids, IMC).....	60
6.2 Analyse de la fréquence cardiaque lors de l'électrostimulation (ÉSM)	62
6.3 Analyse de la tension artérielle lors de l'électrostimulation (ÉSM).....	64
6.4 Pertinence de l'ÉSM à domicile	65
6.5 Limites de l'étude	67
6.5.1 Le nombre de sujets.....	67
6.5.2 Standardisation des protocoles d'entraînement par ÉSM.....	68
VII. RECOMMANDATIONS	69
7.1 Effets de l'ÉSM à long terme	69
7.2 Augmenter le nombre de sujets	69
7.3 Paramètres supplémentaires à mesurer.....	70
VIII. PERTINENCE SOCIALE	71
CONCLUSION	73
RÉFÉRENCES	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Moyenne de l'intensité du courant utilisé lors des séances d'électrostimulation (ÉSM) des quadriceps	32
Tableau 2	Moyenne de l'intensité du courant utilisé lors des séances d'électrostimulation (ÉSM) des mollets	33
Tableau 3	Données anthropométriques (pré et post programme d'ÉSM) des 9 sujets. ...	37
Tableau 4	Fonction pulmonaire des 9 sujets	38
Tableau 5	Tests pré et post programme d'ÉSM	40
Tableau 6	FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps.....	42
Tableau 7	FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets	45
Tableau 8	TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps	48
Tableau 9	TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets.....	51

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Cercle vicieux de la MPOC.....	14
Figure 2 FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps	43
Figure 3 FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets.....	46
Figure 4 TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps.....	49
Figure 5 TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets	52

RÉSUMÉ

La qualité de vie des personnes présentant une maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) est souvent compromise par l'incapacité de fournir un effort physique continu même s'il est de faible durée ou de faible intensité. De plus, ils sont soumis à plusieurs limitations fonctionnelles dues à une capacité ventilatoire réduite. Lors d'efforts physiques ou même d'accomplissement d'activités de la vie quotidienne, il y a une rapide apparition des symptômes d'essoufflement. Cette inactivité physique prolongée provoque une dégradation importante des muscles périphériques ainsi qu'une atrophie musculaire : moins ils en accomplissent, plus leur état physique se détériore et plus les efforts physiques deviennent presque impossibles à réaliser. Au cours des années, les programmes de réadaptation pulmonaire ont démontré une certaine efficacité pour briser ce cercle vicieux. Plusieurs patients atteints de MPOC sévère en sont toutefois exclus en raison de leur trop grande faiblesse musculaire et d'autres abandonnent le programme puisqu'ils ont peine à suivre ce dernier. Si l'on veut que l'accessibilité à ce type de programme soit augmentée, il faut penser à une nouvelle approche d'entraînement, qui pourrait être bénéfique pour les patients atteints de MPOC sévère. L'électrostimulation (ÉSM) devient donc une technologie intéressante à utiliser avec ce type de patient. L'ÉSM peut diminuer les irritants associés à l'entraînement traditionnel ce qui devrait réduire le nombre de cas d'abandon et s'assurer d'une plus grande participation à la réadaptation pulmonaire classique. Plusieurs avantages résident dans l'utilisation de l'ÉSM comme la réduction au minimum des symptômes d'hypoxie ou de dyspnée, la facilité à contrôler les paramètres d'entraînement, l'enrayement du risque de blessures causées par le matériel traditionnel (poids, poulies, etc.), la facilité à cibler un groupe musculaire ou même un muscle et finalement l'appareil est petit et peu encombrant.

Est-ce que l'ÉSM pourrait augmenter la force musculaire des muscles en périphérie et par le fait même augmenter la capacité fonctionnelle des patients atteints de MPOC? L'ÉSM pourra augmenter la force des muscles en périphérie, soit les quadriceps et les mollets, des sujets MPOC. L'ÉSM devrait aussi contribuer à améliorer leur force musculaire, leur capacité fonctionnelle et par conséquent leur qualité de vie. Cette technique devrait contribuer à diminuer les irritants associés à l'entraînement traditionnel.

Dans cette étude, 9 sujets ont subi l'ÉSM. Les sujets choisis détiennent une moyenne du VEMS prédit de $28,44 \pm 15,65$ %, donc représente une catégorie sévère de la MPOC. Le programme d'ÉSM s'est déroulé au domicile des sujets pour un total de 5 séances par semaines pour un volume total de 15 séances. Lors de la séance, 20 minutes sont consacrées à l'ÉSM des quadriceps suivi de 20 minutes pour l'ÉSM des

mollets. La fréquence de stimulation a été fixée à 50 Hertz (Hz). Chacune des impulsions a eu une durée 400 μ s et l'intensité (courant) fût fixé, au départ, entre 10 et 20 mA. Par la suite, l'intensité a été augmentée au niveau le plus élevé pouvant être toléré par le sujet. La durée de chaque contraction a été de 10 secondes, suivi d'une période de récupération de 5 secondes entre chaque contraction. Les tests pré et post programme effectué afin de remarquer les bienfaits de l'ÉSM sont le test de 1 RM, le test de marche de 6 minutes ainsi que la force de préhension. Les fréquences cardiaques ainsi que la tension artérielle ont été mesurées tout au long des séances d'ÉSM.

Les résultats obtenus sont significatifs quant à l'augmentation de la force au niveau des membres inférieurs au test de 1RM ($p < 0,004$) ainsi qu'à l'augmentation de la capacité fonctionnelle au test de marche de 6 minutes ($p < 0,019$). De plus, il n'y aurait eu aucun effet significatif de l'ÉSM sur les signes vitaux des sujets (TA et FC).

Les résultats confirment l'hypothèse voulant que l'ÉSM des muscles en périphérie permette l'augmentation de la force de ces derniers ainsi qu'une augmentation de la capacité fonctionnelle chez les patients présentant une MPOC de type sévère. Il est fort probable que l'augmentation de la force des membres inférieurs a contribué à l'augmentation de la capacité fonctionnelle et ainsi faire un lien avec l'augmentation de la qualité de vie. Ils ont maintenant plus de chance d'accéder au programme traditionnel de réadaptation.

Mots clés : activité physique; maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC); électrostimulation musculaire (ÉSM); réadaptation pulmonaire; dysfonction respiratoire; qualité de vie.

INTRODUCTION

Les bienfaits d'un programme de réadaptation pulmonaire chez les patients atteints de maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) sont nombreux. Tout d'abord, à l'aide d'un programme d'exercice adapté, il est possible d'améliorer les capacités cardiovasculaires, d'augmenter l'efficacité musculaire, de renforcer les muscles respiratoires, d'améliorer la tolérance à l'effort et de diminuer les limitations fonctionnelles dues à une capacité ventilatoire réduite (Lacasse et al, 2004). Tous ces bienfaits sont intimement liés avec l'amélioration de la qualité de vie et à la diminution du risque d'infections. Plusieurs études démontrent que l'activité physique contribue à l'amélioration de la qualité de vie des patients MPOC (Brooks et al, 2007; Lacasse et al, 2004; Mador et al, 2001; Maltais et al, 2000; Bernard et al, 1999; Bernard et al, 1998; Maltais et al, 1998; Whittom et al, 1998).

Depuis plusieurs années, beaucoup de programmes prônant l'activité physique en réadaptation ont vu le jour. Avec le programme de réadaptation pulmonaire déjà en place, depuis 3 ans, à l'Hôtel-Dieu de Montréal (HDM - CHUM), nous avons contribué en l'amélioration de la qualité de vie des patients MPOC participant au programme. Par contre, une grande lacune perdure au sein de notre programme : plusieurs patients atteints sévèrement de MPOC ($VEMS \leq 45\%$ de la valeur prédite) sont exclus de la réadaptation classique parce qu'ils présentent une force musculaire quasi nulle. Bien qu'ils soient des candidats idéaux dus à leur maladie pulmonaire, leur faiblesse musculaire les empêche de suivre la cadence et de profiter par le fait même des bienfaits d'un tel programme. Donc, nous laissons de côté plusieurs patients avec comme prétexte qu'ils ne sont pas éligibles au programme suggéré. Que faire avec ces patients? Voilà la question qui est soulevée dans notre milieu, probablement au sein d'autres milieux et qui mérite beaucoup de notre attention.

Tel que mentionné précédemment, la réadaptation pulmonaire présente énormément de bienfaits et comme professionnel de la santé, nous aimerions que le plus de patients possible participent à ce type de programme afin d'améliorer leur qualité de vie. Il faut alors trouver une solution qui, sur le terrain, est louable et faisable. C'est alors que nous avons pensé d'utiliser l'électrostimulation musculaire (ÉSM) chez les personnes atteintes sévèrement de MPOC. Plusieurs études chez des personnes saines ou athlètes ont été réalisées démontrant que l'ÉSM permettait d'optimiser les effets de l'entraînement et par le fait même d'améliorer certaines capacités musculaires (Zanotti et al, 2006).

Dans le cas de cette étude, ce qui nous a particulièrement intéressés, et avec raison, c'est l'avantage principal que l'ÉSM peut fournir, soit la réduction des symptômes d'hypoxie et de dyspnée à un niveau quasi nul (Neder et al, 2002). Donc, si les patients sont beaucoup trop faibles musculairement pour faire partie du groupe de réadaptation pulmonaire conventionnelle, mais néanmoins des candidats potentiels pour le programme, l'ÉSM serait une bonne option afin d'améliorer leur force musculaire pour les intégrer par la suite au programme de réadaptation pulmonaire de l'HDM, au CHUM, dont on vante tant les mérites. Nous avons pu constater grâce à notre étude plusieurs résultats intéressants, qui peuvent démontrer que l'ÉSM est une technique de renforcement musculaire particulièrement bénéfique pour ce type de patients, qui présentent une intolérance à l'effort insoutenable. L'élément central de ce projet de recherche est de trouver un moyen d'améliorer la qualité de vie des patients présentant une MPOC sévère et l'étude de l'ÉSM, comme approche, cadre parfaitement avec cette idée initiale.

Dans ce présent projet de maîtrise, il est question de mettre en perspective les effets d'un programme d'entraînement par électrostimulation musculaire sur la force musculaire des membres inférieurs ainsi que sur la capacité fonctionnelle des patients atteints sévèrement de MPOC. Nous verrons dans les sections suivantes, une revue de

la littérature concernant ces sujets, la problématique issue de ce programme de recherche, l'hypothèse, la méthodologie utilisée dans ce présent projet de recherche, les résultats obtenus, la discussion ou l'interprétation de ces résultats afin de terminer avec des recommandations pour les prochaines études sur le sujet ainsi que la pertinence sociale de ce présent projet.

I. PROBLÈME

La qualité de vie des MPOC est souvent compromise par l'incapacité de fournir un effort physique continu même s'il est de faible durée ou de faible intensité. De plus, ils sont soumis à plusieurs limitations fonctionnelles dues à une capacité ventilatoire réduite. Lors d'efforts physiques, il y a une rapide apparition des symptômes d'essoufflement et cela s'explique par un taux d'activité physique, chez cette clientèle, quasi nulle. L'inactivité physique prolongée provoque une dégradation importante des muscles périphériques ainsi qu'une atrophie musculaire (Gosselink et al, 1996; Maltais et al, 1996). La réadaptation pulmonaire démontre qu'elle peut mettre un terme à ce cercle vicieux (Lacasse et al, 1996), par contre, lorsque les patients sont référés à ce type de programme, plusieurs sont exclus dus à leur faible force musculaire au niveau des membres inférieurs. S'ils ne sont pas refusés, ils ont du mal à suivre le groupe et comme ils accomplissent beaucoup moins que leurs collègues, ils ne bénéficient pas des bienfaits de la réadaptation du à leur difficulté d'adaptation et souvent ils abandonnent en cours de route. Alors, le programme de réadaptation est beaucoup moins bénéfique pour ces derniers. Afin que le plus de patients possible puissent bénéficier d'un programme de réadaptation pulmonaire ainsi que ses bienfaits, une nouvelle approche d'entraînement pourrait être bénéfique; l'électrostimulation (ÉSM). L'ÉSM devrait diminuer les irritants associés à l'entraînement traditionnel ce qui devrait réduire le nombre de cas d'abandon et ainsi s'assurer d'une plus grande participation à la réadaptation pulmonaire traditionnelle et ainsi augmenter ses bienfaits sur les sujets préalablement électrostimulés. Est-ce que chez les MPOC sévères l'électrostimulation musculaire des muscles périphériques augmenterait la force musculaire ce qui permettrait d'augmenter la capacité fonctionnelle de ces derniers afin de les rendre accessibles au programme de réadaptation pulmonaire de l'HDM du CHUM?

II. HYPOTHÈSE

Pour cette étude, l'hypothèse alternative (H_1) est que l'ÉSM pourra augmenter la force des muscles en périphérie, soit les quadriceps et les mollets, des sujets MPOC. L'ÉSM devrait aussi contribuer à améliorer leur force musculaire, leur capacité fonctionnelle et par conséquent leur qualité de vie (Zanotti et al, 2003). Cette nouvelle technique devrait contribuer à diminuer les irritants associés à l'entraînement traditionnel. Cette nouvelle approche (méthode) comporte plusieurs avantages comme la minimisation des symptômes d'hypoxie et de dyspnée, la facilité à cibler un muscle ou un groupe de muscles en particulier afin d'optimiser les effets de l'entraînement, la facilité de contrôle du volume, de la durée et de l'intensité de l'entraînement, la faible sollicitation du système nerveux central (SNC) (contrairement aux méthodes d'entraînement traditionnelles) et la réduction des risques de blessure liés à l'utilisation du matériel d'entraînement (Zanotti et al, 2003). Cela devrait réduire le nombre de cas d'abandon et ainsi s'assurer d'une plus grande participation à la réadaptation pulmonaire traditionnelle. L'hypothèse nulle (H_0) est que l'ÉSM n'augmentera pas la force des muscles en périphéries des sujets MPOC et par le fait même n'arrivera pas à améliorer la capacité fonctionnelle de ces derniers.

III. REVUE DE LITTÉRATURE

Afin de bien saisir tous les concepts entourant l'ÉSM chez les MPOC, certaines notions physiologiques et techniques devront être approfondies dans cette section.

3.1 Physiologie respiratoire

Afin de bien comprendre ce qu'est la MPOC et son incidence sur tout le fonctionnement respiratoire, il est essentiel de comprendre comment fonctionne la respiration, et ce, de façon simple et globale. La mécanique respiratoire permet d'assurer une ventilation pulmonaire (processus qui fait entrer et sortir l'air des poumons) adéquate pour combler les besoins de l'organisme en oxygène. L'air entré par le nez ou la bouche traverse le pharynx, le larynx, la trachée, les bronches avant de se rendre aux alvéoles où s'effectuent les échanges gazeux. Tout d'abord, lors de l'inspiration, le diaphragme (muscle inspiratoire principal) et les intercostaux externes (muscles inspiratoires secondaires) interviennent, pour faire de l'inspiration un phénomène actif (Ottenheim et al, 2008; Grassino et al, 1984). Au repos, la pression intra pulmonaire est égale à la pression atmosphérique. Lorsqu'il y a inspiration, le thorax s'élargit (le sternum se redresse vers l'avant et les côtes se soulèvent) grâce aux muscles inspiratoires (intercostaux externes) qui se contractent, le diaphragme se contracte ce qui pousse la cavité abdominale et son contenu vers le bas et les poumons se gonflent. Donc, la cage thoracique est augmentée, ce qui provoque une augmentation du volume pulmonaire. La pression intra pulmonaire est alors plus petite que la pression atmosphérique. En raison de ce processus, l'air ambiant pénètre à l'intérieur des poumons afin de pallier cette différence de pression (Wilmore et al, 1999). En ce qui concerne l'expiration, c'est un phénomène passif puisque cela résulte du relâchement des muscles inspiratoires et du retour élastique des tissus pulmonaires. Les muscles intercostaux externes se relâchent, ce qui ramène

les côtes et le sternum à leurs positions initiales. Le relâchement du diaphragme amène ce dernier à sa position première, soit plus haute et située dans la cavité abdominale. Enfin, le tissu pulmonaire reprend sa position normale, ce qui amène une augmentation de la pression intra pulmonaire et force l'expiration (Tortora, 2001). Dans certaines situations, par exemple lors d'une demande ventilatoire plus grande ou d'une expiration forcée due à un problème de santé, l'expiration peut devenir un mécanisme actif. L'intervention des sternocléidomastoïdiens, des scalènes et des muscles pectoraux au niveau de la poitrine permet un soulèvement plus important des côtes comparativement à la respiration habituelle (Wilmore et al, 1999; Mateika et Duffin, 1995).

Suivant l'inspiration c'est la diffusion alvéolo-capillaire qui permet les échanges gazeux entre les poumons et le sang. Ceci permet d'augmenter le contenu en oxygène du sang veineux et par le fait même d'éliminer le gaz carbonique de ce même sang. Lorsque le sang arrive aux capillaires pulmonaires, il est pauvre en oxygène, mais une fois qu'il y circule, il se charge en oxygène. Donc, le sang qui quitte les poumons vers la circulation systémique est chargé en oxygène (Wilmore, 1999; Mateika et Duffin, 1995).

L'oxygène est transporté dans le sang de deux façons. Il est soit combiné à l'hémoglobine (Hb) des globules rouges (sous forme liée) ou dans le plasma (sous forme dissoute). Dans un peu plus de 98 % des cas, le sang est transporté par l'hémoglobine des globules rouges. Un maigre 2 % se retrouve dans le plasma. Sur 5 L de volume sanguin total, seulement une quantité de 9 à 15 ml d'oxygène se retrouve sous forme dissoute. Cette faible quantité d'oxygène ne peut suffire à un organisme qui a besoin, au repos, d'environ 250 ml d'oxygène par minute (Wilmore et al, 1999; Gavin et al, 1998). Donc, le sang transporte beaucoup plus d'oxygène dû à l'hémoglobine. Pour chaque molécule d'hémoglobine, quatre molécules d'oxygène peuvent y être transportées et lors de la fixation de ces dernières, on y retrouve le

complexe d'oxyhémoglobine. Les possibilités de saturation de l'hémoglobine dépendent de la pression en oxygène (PO₂) dans le sang. Une PO₂ élevée entraîne automatiquement une saturation de l'hémoglobine et le contraire suit cette logique. La saturation de cette dernière peut être influencée de plusieurs manières. Par exemple, si le pH est bas (l'acidité du corps est haute) le % de saturation sera plus faible et si le pH est haut (l'acidité du corps est plus faible) le % de saturation pour la même PO₂ sera plus élevé. À l'exercice, le niveau de saturation de l'hémoglobine diminue si l'on suit le principe qu'au niveau des tissus, le pH est clairement plus faible, ce qui facilite la désoxydation de l'hémoglobine et donc une facilité en ce qui a trait à fournir de l'oxygène aux tissus. De plus, la baisse du pH au niveau des muscles en activité permet de fournir plus d'oxygène à ces derniers. Enfin, la température du sang affecte aussi l'oxyhémoglobine. L'augmentation de la température du sang permet une livraison plus efficace de l'oxygène vers les tissus, qui se résultent en une diminution du % de saturation de l'hémoglobine. C'est aussi le cas à l'exercice afin de fournir en oxygène les muscles actifs. Il est donc possible d'affirmer qu'à l'exercice, par l'augmentation de la température corporelle et de la diminution du pH dans les muscles en action, il y a une diminution du % de saturation de l'hémoglobine afin de permettre une allocation renforcée d'oxygène pour ces derniers (Wilmore et al, 1999; Gavin et al, 1998). Au repos, 97-99 % de l'hémoglobine porte de l'oxygène, elle est donc saturée en oxygène à 97-99 %.

Lors d'un effort intense ou à l'exercice intense, les sujets sédentaires, moyennement entraînés ou ne présentant aucune déficience respiratoire ne présentent pas de baisse du taux de saturation de l'hémoglobine. En revanche, chez certaines personnes ayant une déficience respiratoire (comme les personnes atteintes de MPOC) ou chez certains athlètes de très haut niveau, la saturation diminue atteignant des valeurs proches de 90 % (Powers et al, 1988). Près de 10 % de l'hémoglobine ne peut se garnir en oxygène pendant le passage au niveau des poumons (Nichol et al, 1999; Powers et al, 1988; Dempsey et al, 1984). La diminution de la capacité de transport

de l'O₂ en lien avec cette baisse de la saturation pourrait être un facteur limitant la performance (Powers et al, 1988; Dempsey et al, 1984). De plus, comme les échanges gazeux sont déficients et qu'il y a une limitation au niveau du débit expiratoire, la personne souffrant d'une déficience pulmonaire est incapable de vider ses poumons complètement (d'expirer complètement) avant de devoir prendre une prochaine inspiration. Donc, elle continue à inspirer plus qu'elle expire et l'on retrouve alors l'hyperinflation dynamique. Cette hyperinflation porte le volume pulmonaire à sa limite, ce qui entraîne une réduction plus que considérable du volume de réserve inspiratoire (Butcher et Jones, 2006). Afin de pallier ce problème chez les gens atteints de maladie pulmonaire, l'utilisation de l'oxygène à l'effort est souvent requise afin de garder la saturation au-delà de 88 %.

3.2 La maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) – Mise en contexte

La MPOC est une cause majeure de mortalité et de morbidité au niveau mondial et elle représente la quatrième cause de décès (Rabe et al, 2007). En mettant plus d'accent vers les besoins des patients présentant une MPOC, la réadaptation pulmonaire sera beaucoup plus efficace quant aux problèmes dysfonctionnels associés à cette maladie.

Afin de bien comprendre la MPOC, il est essentiel de comprendre les différentes classifications des maladies pulmonaires. On retrouve deux grandes catégories de dysfonction respiratoire : elles sont soit de type obstructif (MPO) ou de type restrictive (DPR). Dans le premier des cas, cela se définit par un ensemble d'affections pulmonaires qui se caractérisent par l'obstruction du passage de l'air (Hovington, 2005; Troosters et al, 2005; McArdle et al, 2001). Avec l'évolution de ce type d'affections pulmonaires, la mécanique respiratoire est modifiée et il y a une difficulté au niveau des échanges gazeux alvéolaires (Troosters et al, 2005; Anto et al, 2001). De plus, on y retrouve une hyperinflation des poumons (O'Donnell et al,

2007). Au niveau des DPR, on constate que diverses capacités respiratoires sont soumises à une restriction quelconque comme par exemple, la restriction à l'expansion thoracique (Hovington, 2005; McArdle et al, 2001). Dans le cas de notre étude, nous allons nous attarder à la première catégorie, soit les maladies pulmonaires obstructives. Dans cette catégorie, on y retrouve la bronchite, la bronchiectasie, l'emphysème, l'asthme et la fibrose kystique (Troosters, 2006; Mc Ardle et al, 2001). Par contre, seulement deux de ces maladies font partie de la MPOC, soit la bronchite chronique et l'emphysème (Petty, 2006; Anto et al, 2001). Le terme chronique ajouté après maladie pulmonaire obstructive démontre qu'il y a un fondement pathologique à ces deux maladies, soit un processus inflammatoire qui dure longtemps, qui se développe lentement et qui revient sans cesse, d'où vient le mot chronique (Hovington, 2005). Au niveau de la bronchite chronique, il y a une surproduction de mucus causant le rétrécissement des voies respiratoires. De plus, les cils pulmonaires (qui servent à éliminer le mucus des poumons ou à filtrer ce qui ne doit pas se rendre aux poumons) sont endommagés, ce qui entraîne une accumulation de sécrétions qui restent dans les voies respiratoires et qui obstruent ces dernières. Donc, la quantité d'air voulant entrer dans les poumons est réduite. Au niveau de l'emphysème, il y a une altération des alvéoles (au niveau de leurs parois). Donc, la perte d'élasticité des alvéoles apporte une déficience au niveau des échanges gazeux entre l'oxygène et le sang. De plus, on retrouve aussi une perte d'élasticité des poumons. En ce qui concerne la fonction pulmonaire, elle est compromise lorsqu'apparaît un processus pathologique (inflammation) dans le tissu pulmonaire. Il y a donc une destruction du tissu pulmonaire (causée par l'inflammation), ce qui entraîne une diminution de l'élastine tissulaire et un affaissement des petites voies respiratoires (O'Donnell et al, 2007). Cela a comme conséquence une fermeture des voies respiratoires ainsi qu'une rétention au niveau de l'air dans la partie distale des poumons, et ce, particulièrement durant l'expiration. (Bourbeau et al, 2002). La réduction de l'élasticité des poumons fait diminuer la force motrice lors de l'expiration, ce qui défavorise le maintien de la perméabilité des petites voies respiratoires, ce qui limite les débits expiratoires

(O'Donnell et al, 2007; Bourbeau et al, 2002). La limitation du débit expiratoire est une principale caractéristique dans la MPOC (O'Donnell et al, 2007). Puisqu'il y a augmentation du volume résiduel dans les poumons, l'espace disponible pour l'air inspiré en est réduit.

La MPOC progresse lentement et sur un certain nombre d'années. Les symptômes entourant la maladie sont associés à de fréquentes exacerbations et à une diminution de la circulation de l'air. Des sécrétions journalières, une toux fréquente, une respiration sifflante et un essoufflement à l'exercice (ou lors d'activités de la vie quotidienne) sont aussi des symptômes entourant la maladie (O'Donnell et al, 2007; Petty, 2006; Anto, 2001). Lorsque la maladie s'aggrave, il y a un essoufflement plus marqué et cela restreint le niveau d'activité et par le fait même la qualité de vie des personnes atteintes de MPOC. Lorsque la maladie atteint un stade encore plus sévère, ces effets sont ressentis de façon plus fréquente, entraînant souvent une diminution supplémentaire de la circulation de l'air et un décès prématuré (Ferguson, Cherniak, 1993). Plusieurs facteurs peuvent aggraver les symptômes de la maladie tels que les polluants de l'air intérieur (produits d'entretien ménager, odeurs fortes), les polluants de l'air extérieur (fumées industrielles, smog), les émotions (colère, anxiété), les changements de température (vent, chaleur ou froid extrême) ainsi que les infections pulmonaires (rhume, grippe, pneumonie). Leur qualité de vie est souvent compromise par leur incapacité à soutenir un effort physique continu même si ce dernier est de faible durée ou de faible intensité (Lacasse et al, 2004). Dans ces circonstances, même les tâches domestiques de la vie quotidienne prennent l'allure d'un véritable défi. Les principales causes et facteurs susceptibles d'entraîner une MPO sont le tabagisme actif, l'exposition aux gaz et poussière du aux types d'emplois occupés, la pollution de l'air, l'hérédité, les infections, ainsi que le vieillissement (O'Donnell et al, 2007; Petty, 2006; Anto, 2001; Mc Ardle et al, 2001). Il est important de mentionner que le tabagisme est la principale cause intimement liée à la MPO. Il est plutôt rare que les non-fumeurs souffrent de MPO. Si l'on s'attarde principalement à

la MPOC, il est possible de mentionner que cette dernière a comme cause principale, elle aussi, dans 95 % des cas, le tabagisme (O'Donnell et al, 2007; Hovington, 2005 ; Anto, 2001). Le tabagisme entraîne une obstruction évolutive des voies respiratoires, par une fréquence ainsi qu'une gravité croissante des exacerbations qui s'aggravent avec l'évolution de la maladie et tout cela se résultent ensuite par des incapacités respiratoires et donc une diminution de la qualité de vie (O'Donnell et al, 2007). La consommation tabagique est étroitement liée avec l'évolution fonctionnelle et la mortalité dans le cadre d'une bronchite chronique ou de l'emphysème. Tous ces facteurs entourant la maladie se résultent en plusieurs déficiences ou dysfonctionnements physiologiques. En regardant ces dysfonctions physiologiques, il est possible de constater qu'ils sont fortement liés. Ils amènent aussi une intolérance à l'effort. L'appauvrissement de l'apport en oxygène causé par une déficience respiratoire est responsable du syndrome de déconditionnement. Par un appauvrissement en oxygène, le tissu musculaire subi de sévères détériorations (Maltais et al, 1998). Par exemple, on y retrouve une altération des fibres lentes de type I, une diminution du réseau des capillaires intra musculaires ainsi qu'une diminution des activités des enzymes oxydatives (Maltais et al, 1996). De plus, on retrouve dans une proportion de 30 à 40 % une atrophie musculaire sévère chez les patients atteints de MPOC (Casaburi, 2000; Maltais et al, 1996). La réduction chronique de l'activité musculaire provoque une diminution de la masse musculaire par l'amincissement des fibres et par une diminution du nombre de myofibrilles. Donc, la masse musculaire totale décroît par réduction de la teneur protéique des muscles squelettiques, ce qui engendre une diminution élective des protéines contractiles dont la proportion diminue avec la durée de l'inactivité (Astrand et Rodahl, 1973). La conséquence directe de ces changements, donc d'une atrophie musculaire, se résulte en la diminution ou la régression progressive du niveau de force musculaire. Aussi, il est possible de dénoter une force des quadriceps beaucoup plus faible des sujets présentant une MPOC comparativement à des sujets normaux du même âge. On retrouve 70 % des sujets atteints d'une dysfonction pulmonaire qui

ont une force des quadriceps moindres que des sujets normaux ayant le même âge (Zanotti et al, 2007; Hamilton et al, 1995). Enfin, en raison de toutes ces conséquences, on retrouve une intolérance à l'effort ou même une intolérance lors des activités de la vie quotidienne. La sédentarité est directement liée à la peur de voir apparaître des difficultés respiratoires. Alors, l'intolérance à l'effort est un facteur de haute importance lors de la compréhension et même du traitement de la MPOC. L'intolérance à l'effort (due aux difficultés physiologiques énoncées plus haut) se résulte en une incapacité à fournir un effort physique continu qu'il soit de faible durée et/ou d'intensité (Ambrosino et Strambi, 2004). La capacité ventilatoire réduite entraîne des limitations fonctionnelles qui, elles aussi, résultent de l'intolérance à l'effort. S'ensuit une inactivité physique prolongée ce qui provoquera une dégradation importante des muscles périphériques et donc une atrophie musculaire (Debigaré et al, 2001; Casaburi, 2000; Killian et al, 1992). Une rapide apparition de l'essoufflement à l'effort ou lors des activités de la vie quotidienne (AVQ) rend l'effort insupportable. Alors, lorsque les patients atteints de MPOC veulent augmenter leur niveau d'activité physique, ils rencontrent l'essoufflement (causé en partie par l'obstruction des voies respiratoires) et les douleurs musculaires trop intenses (dysfonction des muscles squelettiques). Ceci crée inmanquablement une intolérance à l'effort et donc un arrêt ou une diminution marquée de l'activité physique (Gosselink et al, 1996; Hamilton et al, 1995). Voilà le cercle vicieux auquel sont confrontés les patients atteints de MPOC. Le schéma qui suit démontre ce cercle vicieux ou cette spirale infernale que représente la MPOC pour les gens atteints de cette maladie.

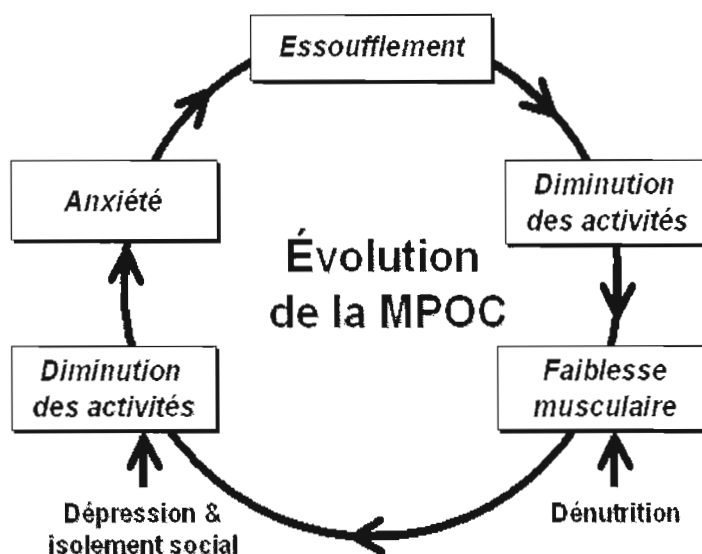


Figure 1 Cercle vicieux de la MPOC

Adapté de : Belleau R, Leclère H. 1999. Apprendre à vivre avec la bronchite chronique et l'emphysème pulmonaire. Les presses de l'Université Laval.

Enfin, tous les coûts reliés à la MPOC (besoins de services additionnels, perte de productivité) constituent une charge autant pour le système de santé, la famille que pour la collectivité dans son ensemble (Agence de la santé publique du Canada, 2007).

3.2.1 MPOC - Réadaptation pulmonaire par l'activité physique

Depuis quelques années, il y a une émergence des programmes de réadaptation pulmonaires. Beaucoup d'études ont démontré l'efficacité d'un tel programme sur l'augmentation de la qualité de vie des patients atteints de MPOC (Lacasse et al, 2004; Mador et al, 2001; Maltais et al, 2000; Bernard et al, 1999; Bernard et al, 1998; Maltais et al, 1998; Whittom et al, 1998) et beaucoup de lignes directrices quant à la prescription d'exercices pour cette clientèle ont été émises. L'enjeu sociétal que représente la MPOC a donc pris beaucoup d'importance au cours des dernières

années. Aujourd'hui, il est donc possible de mentionner que la réadaptation pulmonaire s'insère dans la prise en charge du patient. Dans les lignes qui suivent, les bénéfices qu'apporte la réadaptation pulmonaire tant au niveau physiologique que psychologique seront expliqués.

Afin de pallier au cercle vicieux de la MPOC, la réadaptation pulmonaire s'est avérée extrêmement efficace. Bien que la réadaptation pulmonaire ne peut pas agir au point de vue de la mécanique des poumons, dans le domaine des échanges gazeux ou en ce qui concerne l'augmentation de la capacité pulmonaire (Zanotti et al, 2007; Bourjeily et al, 2002), elle a démontré ses effets au point de vue de l'augmentation de la tolérance à l'effort des patients présentant une MPOC (Zanotti et al, 2007; Maltais et al, 2000; Ries et al, 1997; Casaburi, 1993). On lui attribue aussi ses effets en ce qui concerne les facteurs psychologiques, de la motivation et d'une diminution de la dyspnée (Haas et al, 1993). De plus, il ne faut pas sous-estimer la valeur de la réadaptation pulmonaire au niveau de l'augmentation de la force musculaire puisque c'est en augmentant la force de ces derniers que la tolérance à l'effort sera améliorée (Zanotti et al, 2007). Il a été démontré qu'une réduction de 30 à 40 % de la force des quadriceps est intimement liée à une distance moindre lors du test de marche de six minutes ainsi qu'à une consommation maximale d'oxygène plus élevée lors de ce même test (Gosselink et al, 1996; Fiatarone et al, 1990). Donc, un changement en ce qui concerne la force du quadriceps améliore la capacité à l'effort d'un patient présentant une MPOC et par le fait même démontre une plus grande tolérance à l'effort et donc une augmentation de la qualité de vie (Troosters et al, 1996; Simpson et al, 1992). Un programme de réadaptation contient souvent trois catégories, soit la partie activité physique, la partie éducation ou enseignement ainsi qu'un appui psychologique. La réadaptation pulmonaire agit donc sur plusieurs niveaux et ne se limite pas seulement à l'activité physique (Lacasse et al, 2004). L'éducation du patient (connaître la maladie, être capable de maintenir des stratégies afin de réduire la dyspnée, adopter et maintenir de bonnes habitudes de vie, être capable d'utiliser de

façon efficace la médication, etc.) ainsi qu'un support psychologique (rencontrer des gens présentant la même maladie que soi, avoir le sentiment d'être compris, etc.) sont aussi des aspects non négligeables lors de la réadaptation et permettent au programme d'être complet. Une approche incluant tous ces éléments est donc plus que bénéfique pour le patient. De plus, la réadaptation pulmonaire a démontré beaucoup d'incidences et d'améliorations sur plusieurs aspects physiologiques. Il a été démontré qu'un programme d'activité physique augmente la force musculaire des muscles périphériques puisqu'il y a restauration des qualités de force et d'endurance musculaire et par le fait même de l'efficacité musculaire (Lacasse et al, 2004; Mador et al, 2001; Casaburi, 2000; Bernard et al, 1999; Maltais et al, 1996). On retrouve aussi l'augmentation de la capacité oxydative des muscles squelettiques par la multiplication des fibres musculaires de type I et IIa. De plus, il y a un accroissement du nombre de capillaires musculaires et l'amélioration des propriétés contractiles du muscle. On retrouve aussi une amélioration des capacités cardiovasculaires et un renforcement des muscles respiratoires (surtout accessoire). Tout cela se résulte en une amélioration de la tolérance à l'effort et à une diminution des limitations fonctionnelles qui est due à une incapacité ventilatoire. Enfin, une diminution du risque d'infections, lié à une diminution du taux d'hospitalisation est remarquée. Donc, il est possible d'affirmer que grâce à tous ces changements physiologiques on retrouve une augmentation de la qualité de vie (Mador et al, 2001; Maltais, 2000; Bernard et al, 1999; Bernard et al, 1998; Maltais et al, 1998; Whittom et al, 1998). Il est maintenant possible d'affirmer que les limitations auxquelles sont soumises les personnes atteintes de MPOC peuvent être améliorées à l'aide d'un programme d'entraînement adapté.

Comme mentionnée auparavant, la réadaptation pulmonaire peut mettre un terme au cercle vicieux de la MPOC. Par contre, lorsque les patients sont recommandés à ce type de programme, plusieurs en sont exclus. La faible force musculaire au niveau des membres inférieurs (perte de masse musculaire importante), la dyspnée au repos,

l'impossibilité de tenir un effort de plus de quelques minutes, les irritants trop nombreux associés à l'entraînement traditionnel et l'effort qui devient insupportable écarte un grand nombre de patients de la réadaptation traditionnelle. S'ils ne sont pas refusés, ils ont du mal à suivre le groupe et comme ils accomplissent beaucoup moins que leurs collègues, ils ne bénéficient pas des bienfaits de la réadaptation puisqu'ils abandonnent souvent en cours de route. Voilà le problème majeur de la réadaptation pulmonaire : elle n'est pas accessible à tous! Enfin, au Canada, en 2005, seulement 1 à 2 % des patients présentant une MPOC avaient accès à un programme de réadaptation pulmonaire (Maltais et al, 2008; Brooks et al, 2007). Les statistiques sont similaires dans les autres pays (Yohannes et Connolly, 2004; Bickford et al, 1995).

3.3 Électrostimulation (ÉSM)

L'électrostimulation est une technique utilisée fréquemment dans différents domaines et pour différentes raisons par exemple dans les cas d'atrophie musculaire (Delitto et al, 1988; Matthews et Morrissey, 1985; Eriksson et Häggmark, 1979), à des fins de réadaptation (Moore et Shurman, 1997; Repperger et al, 1997; Loeser et al, 1975) ou tout simplement lors d'entraînements d'athlètes (Cometti, 1994; Selkowitz, 1985; McMiken et al, 1983). L'objectif de la revue de littérature de cette section est de bien comprendre en quoi cette méthode sera bénéfique pour les patients atteints de MPOC et quels seront les avantages qu'ils pourront en tirer. Il est important de comprendre le fonctionnement et les effets de l'appareil au point de vue physiologique, mais il est d'autant plus important d'analyser ses bénéfices lors de l'utilisation. Dans la section qui suit, il sera question de la pertinence de l'ÉSM, de son fonctionnement, de ses avantages, de ses limites ainsi que les bénéfices à utiliser l'ÉSM chez une population ayant une MPOC.

3.3.1 Pertinence de l'ÉSM en recherche – Mise en contexte

L'ÉSM est de plus en plus présente au sein de la réadaptation musculaire. Cette technique a permis de démontrer une très grande plasticité du système neuromusculaire lors d'expérimentations chez l'homme ainsi que chez les animaux (Hortobagyi et al, 1998; Duchateau, 1988). C'est pourquoi, entre autres, que l'on utilise fréquemment l'ÉSM pour contrer l'atrophie musculaire ou augmenter la force musculaire lors de la récupération suivant une blessure. De plus, lors de blessures musculo-squelettiques, il est possible de remarquer une certaine augmentation de la vitesse de récupération suivant l'utilisation de l'ÉSM (Snyder-Mackler et al, 1991; Matthews et Morrissey, 1985). La technique de l'ÉSM a aussi permis de comprendre plusieurs phénomènes intramusculaires suscités par les contractions musculaires, lors d'exercices, qui étaient difficilement discernables au moyen d'exercices volontaires. Notons entre autres l'ordre de recrutement des unités motrices, l'implication des commandes centrales, etc. (Hortobagyi et al, 1998; Cabric, 1987; Salmons et Vrobova 1969, Pette 1973). Certains mécanismes d'adaptation, tant chez l'animal que chez l'homme, ont aussi pu être étudiés grâce à l'utilisation de l'ÉSM (Hortobagyi et al, 1998; Duchateau, 1988).

3.3.2 Fonctionnement de l'ÉSM

Le principe de l'électrostimulation non invasive (directe) est de stimuler les fibres nerveuses périphériques d'un muscle à l'aide d'une impulsion variable (durée/intensité) transmise par un appareil à l'aide d'électrodes que l'on appose à la surface de la peau. Plusieurs études démontrent que la contraction produite par l'ÉSM s'apparente à une contraction volontaire (Crameri, 2002) sans toutefois utiliser les mécanismes centraux qui interviennent lors de ces contractions. Le rôle du stimulateur électrique est de remplacer la commande centrale provenant du cortex moteur pour engendrer une contraction musculaire. Lors de l'ÉSM, le courant électrique généré entraîne la dépolarisation des cellules musculaires afin d'effectuer

le recrutement des unités motrices adjacentes au site de stimulation (Dehail et al, 2008; Collins, 2007, 2002, 2001). Donc, la contraction musculaire serait induite par la dépolarisation des motoneurones, et ce, indirectement par la dépolarisation des afférences sensorielles (Dehail et al, 2008; Collin, 2007, 2002, 2001; Convertino et Sandler, 1995). Donc, le recrutement ne se fait pas sous le contrôle volontaire via les circuits habituels impliquant le cortex moteur et les motoneurones de la moelle épinière. La particularité des cellules nerveuses et musculaires est qu'elles sont excitables (Dehail et al, 2008). C'est donc cette propriété particulière qui leur permet de répondre à un stimulus électrique (dans le cas qui nous intéresse le courant électrique généré par l'appareil), par la mise en place d'une activité électrique de membrane appelée potentiel d'action (Hoppeler, 1986; Howald 1975). En effet, lorsque le potentiel d'action (engendré via une stimulation électrique externe) est déclenché au niveau d'une cellule nerveuse ou encore de son axone (le prolongement de la cellule), il se propage très rapidement le long de la membrane de ladite cellule (Purves et al, 2008). Après avoir franchi la jonction neuromusculaire, le potentiel d'action parcourt la membrane des cellules musculaires. Par l'intermédiaire d'invaginations membranaires, l'excitation est alors transmise en profondeur de la cellule musculaire ce qui provoque par la suite le début de la contraction musculaire (Crameri, 2002; Cometti, 1989). On retrouve le même principe lors d'une contraction musculaire volontaire sauf que cette fois-ci la commande motrice remplace l'impulsion électrique du stimulateur. Par conséquent, tel qu'expliqué, le courant électrique engendré par l'appareil de stimulation (stimulus électrique) remplace l'influx nerveux. Pour ce qui est du recrutement, l'ÉSM entraîne un recrutement musculaire spécifique, dont les caractéristiques diffèrent du recrutement physiologique lors des contractions volontaires. Ce recrutement qui est différent ou particulier serait à l'origine des gains de force observés lors de l'ÉSM chez des sujets sains. Dans la littérature, il est souvent proposé que l'ÉSM recrute les unités motrices dans l'ordre contraire par rapport à la contraction volontaire en ce qui a trait aux principes de taille. Lors de la contraction volontaire, les unités motrices lentes

(associées aux fibres nerveuses de petit diamètre) sont activées en premier. Les unités motrices rapides (associées aux fibres de gros diamètres) seraient activées que par la suite. En ÉSM, le recrutement du type des unités motrices serait non sélectif par rapport à la contraction volontaire (Jubeau et al, 2007; Gregory et Bickel CS, 2005). Donc, en ce qui concerne le patron de recrutement, cela pourrait dépendre de l'emplacement, du type et de la surface de l'électrode ainsi que le muscle stimulé (Theurel et al, 2007). Par contre, certains doutes persistent dans la littérature à savoir si seule la stimulation électrique agit sur le muscle stimulé ou si d'autres mécanismes réflexes s'ajoutent à celle-ci (Dean et al, 2008; Gondin et al, 2006; Han et al, 2003). Ces auteurs affirment que la stimulation électrique s'accompagnerait d'une activité cérébrale du cortex sensori-moteur ainsi que de l'aire motrice supplémentaire. Ils affirment aussi que le gain de force musculaire serait rendu possible grâce à des adaptations musculaires locales à l'aide de la commande motrice. Ce qui est important de retenir c'est qu'un courant électrique va engendrer une dépolarisation à un autre site que celui du motoneurone (c'est-à-dire via une électrode placée à la surface de la peau directement au niveau du muscle à stimuler), afin d'engendrer une contraction avec un mécanisme différent que celui que l'on retrouve lors de la contraction volontaire. C'est justement cette particularité qui peut être attrayante pour les personnes atteintes de MPOC qui ne sont pas en mesure de faire de l'activité physique.

Brièvement, toute contraction musculaire (volontaire ou non) est réalisée suivant un mouvement des ions de chlore, de potassium et de sodium à travers la membrane de la cellule musculaire. Le calcium du réticulum sarcoplasmique est ainsi activé, ce qui provoque une augmentation de la concentration des ions de calcium intracellulaires. Tous ces phénomènes facilitent ainsi la contraction musculaire (Alon, 1989; Cheng, 1987).

3.3.3 Le courant utilisé

Le courant électrique qui est appliqué aux muscles permet un effet direct sur le mouvement des particules chargées qui se retrouvent à l'intérieur des tissus (ex. : protéines, électrolytes, cellules sanguines). Selon la forme du courant utilisée ainsi que le type de stimulateur, les mouvements de particules peuvent produire plusieurs effets électrochimiques, électromécaniques et électrothermiques. Ces effets apparaissent au niveau cellulaire, dans la région immédiate où sont appliquées les électrodes. La forme du courant utilisé lors de l'ESM est biphasique, qui se définit comme étant une forme de courant variable ou alternatif. Les électrodes passent d'une polarité positive à une polarité négative, et ce, en alternance (Decherchi et al, 2003; Portmann, 1991). Il existe plusieurs types d'ondes qui peuvent être émis lors de l'ESM. Les trois plus utilisés portent les noms de « spike », carré symétrique et carré asymétrique (Mannheimer et Lampe, 1984). Dans ces trois cas, la portion positive de l'onde est égale à sa portion négative, ce qui amène une réduction du déplacement d'ions vers les tissus cutanés. Ainsi, puisque la concentration d'ions est polarisée, les différentes réactions de la peau (acidose, alcalose) sont prévenues et cela entraîne une diminution des risques de brûlures cutanées lors de l'utilisation du courant biphasique (Decherchi et al, 2002; Delitto et al, 1988; Mannheimer et Lampe, 1984). Les effets thermiques sont alors négligeables. Ce type de courant a été utilisé et démontré comme étant fonctionnel dans les cas d'ESM (Bennie et al, 2002; Delitto et al, 1988).

3.3.4 Paramètres d'entraînement en ÉSM

Comme l'entraînement traditionnel, l'ESM permet de développer différentes qualités musculaires tout dépendamment de la procédure d'entraînement préconisé. Plusieurs paramètres sont susceptibles d'influencer la réponse musculaire ainsi que son efficacité telle que la localisation de la stimulation et le type d'électrode, le type et la forme du stimulus (courant) électrique, la durée et l'intensité du stimulus électrique, la fréquence de répétition du stimulus ainsi que la durée des fréquences de contraction

et de repos entre chaque contraction. Ici, nous allons nous attarder à l'entraînement de la force musculaire puisque c'est ce dont il sera question lors de l'expérimentation.

Les principes de base de l'entraînement traditionnel ou classique de la force musculaire sont connus depuis bien longtemps (Platonov 1988; Schmidtbleicher, 1986; Weineck 1985; Zatsiorsky, 1966). Lors de la prescription d'entraînement, ils recommandent un entraînement avec des charges maximales ou près du maximum (individuel) pour obtenir des gains de force substantiels avec l'entraînement classique (Weineck, 1985; Schmidtbleicher 1985). C'est alors que l'augmentation de la force chez des sujets non entraînés est assez rapide lorsque la charge (ou l'effort) excède. Toutefois, pour bénéficier de cette adaptation, il est nécessaire de s'accorder plusieurs semaines d'entraînement. Il y a tout d'abord une adaptation neuromusculaire et ensuite interviennent les processus hypertrophiques (Häkkinen et al, 1987; Huston et al, 1983; Sale et al, 1983; Moritani et deVries, 1979). L'ÉSM, en tant que moyen pour améliorer la force musculaire, a fait l'objet d'un intérêt particulier depuis déjà plusieurs années, chez les spécialistes de la performance sportive. Chez l'athlète élite, l'augmentation semble être très limitée et se produit plutôt de façon très lente. (Cometti, 2004; Häkkinen et al, 1987). Les études incluant une population sédentaire ont démontré des gains de force musculaire beaucoup plus grands et beaucoup plus spectaculaires que chez les athlètes (Cometti, 2004; Häkkinen et al, 1987). Depuis plusieurs années, certains auteurs ont rapporté dans la littérature des gains de force musculaire par ÉSM variant de 2 à 55 % (Thépaut-Mathieux 1998; Thépaut-Mathieux et Pougheon, 1992; Portmann, 1991; Selkovitz, 1985; Portmann et Avon, 1982; Kots et Andrianova, 1971).

En ce qui a trait à l'amélioration de la force maximale lors de l'ÉSM, la littérature suggère des fréquences allant de 100 à 150 Hz (Bourjeily-Habr et al, 2002). Les protocoles de stimulation varient chez les différents auteurs. On retrouve une seconde de contraction et une seconde de récupération pour aller jusqu'à 30 à 60 secondes de

contractions suivies de 25 à 60 secondes de récupération. Pour ce qui est du nombre de répétitions ou plutôt de la durée totale de la stimulation, on retrouve 10 minutes allant jusqu'à une heure et même plus. On privilégie 6 à 8 semaines d'ÉSM, mais le nombre de séances varie entre 12 et 24 séances, en général. Il semblerait aussi que les changements associés à ce type de protocole sont comparables à l'entraînement traditionnel avec poids libres (Nerder et al, 2002). Plusieurs études ont démontré une augmentation de la surface de section des fibres musculaires de type I ou des groupes musculaires entraînés (Gondin et al, 2006; Herrero et al, 2006; Maffiuletti et al, 2006; Requena et al, 2005). Donc, on observe des changements au niveau du nombre (augmentation) et du volume des myofibrilles. Les fibres musculaires de type IIa et IIb semblent donc être principalement affectées (Gondin et al, 2006; Herrero et al, 2006; Maffiuletti et al, 2006; Requena et al, 2005).

L'ÉSM, lorsqu'appliquée sur une longue période, augmenterait aussi la capacité aérobie. Cela a été démontré par une augmentation très importante de la densité, du volume et des enzymes aérobie des mitochondries (Reichmann 1985; Heilig 1980). Ces études ont surtout été faites chez des sujets animaux.

3.3.5 Avantages de l'ÉSM

L'utilisation de la technique d'ÉSM comme moyen alternatif d'entraînement présente plusieurs avantages considérables. Tout d'abord, les symptômes d'hypoxie et de dyspnée reliés à l'activité physique sont réduits au minimum (Zanotti et al, 2003; Neder et al, 2002). Ensuite, la durée, l'intensité et le volume d'entraînement peuvent, en plus, être facilement contrôlés à l'aide de cette technique. Les risques de blessures liées à l'utilisation de matériel d'entraînement (poids, poulies, etc.) sont aussi réduits (Neder et al, 2002). Il est également possible d'optimiser les effets de l'entraînement de par la facilité à cibler un muscle ou un groupe musculaire en particulier. Finalement, puisque l'appareil est petit et facile à transporter, il permet un accès

facile et non encombrant. Il est donc possible d'optimiser un entraînement malgré un accès difficile à un centre de conditionnement physique, et ce, tout en offrant une alternative aux personnes ne pouvant effectuer des exercices de musculation traditionnels. De plus, l'intérêt majeur lors de l'utilisation de l'ÉSM est de pouvoir exiger aux muscles stimulés une quantité de travail non négligeable puisque ces derniers ne sont pas limités par la fatigue centrale comme c'est le cas lors d'exercices volontaires. Contrairement aux méthodes d'entraînement classique, la sollicitation du système nerveux central (SNC) est minimale (Cometti, 2004). Les méthodes classiques exigent une sollicitation importante des groupes musculaires et donc une demande significative au niveau du système nerveux central (ex. : pliométrie). C'est pour ces raisons que l'ÉSM a été introduite dans l'entraînement afin de savoir si elle pouvait constituer une alternative intéressante aux méthodes classiques (Cometti, 2004). Cela s'est avéré positif puisque cette technique a démontré plusieurs avantages tels qu'une action efficace sur la masse musculaire, sur la force maximale autant concentrique, qu'excentrique (Cometti, 2004). Pour tous les avantages énumérés précédemment, l'ÉSM peut s'avérer une méthode complémentaire et bénéfique pour différents types de population.

3.3.6 MPOC et ÉSM

Comme mentionné précédemment, la qualité de vie des personnes atteintes d'une MPOC est souvent compromise par leur incapacité à soutenir un effort physique continu, même si ce dernier est de faible intensité ou de faible durée due à une capacité ventilatoire réduite, à une dégradation du mécanisme lors des échanges gazeux alvéolaires ainsi qu'à une dégradation importante des muscles périphériques (Couillard et al, 2003). Lorsque les patients atteints de MPOC doivent augmenter leur niveau d'activité physique, les principaux problèmes auxquels ils sont confrontés se résument à l'essoufflement ainsi qu'à une douleur musculaire trop intense qui apparaissent très tôt lors d'efforts physiques et qui engendrent un arrêt immédiat de

l'effort. Toutes ces problématiques se résultent en une difficulté de plus en plus grandissante lors de l'accomplissement d'activités de la vie quotidienne (AVQ). La sédentarité est donc intimement liée à la peur de voir l'apparition des difficultés de respiration (dyspnée). La réadaptation pulmonaire est souvent difficile à envisager ou à mettre en œuvre chez les patients atteints sévèrement qui présentent une dyspnée au repos et une perte de masse musculaire importante. Pour cette population, tous les types d'effort ou de contraction volontaires sont difficilement supportables. L'électrostimulation pourrait donc être une alternative intéressante. Cette technique de renforcement musculaire peut s'avérer plus que bénéfique pour des patients présentant une incapacité à l'effort et donc par le fait même peu capable ou incapable de réaliser des exercices volontaires en quantité suffisante afin d'améliorer leur qualité de vie.

Plusieurs études ont démontré l'augmentation de la force des quadriceps chez les patients atteints de MPOC utilisant l'électrostimulation musculaire. On y retrouve souvent une amélioration de la force allant de 15 à 23 % (Bourjeily et al, 2002; Quittan et al, 1999). De plus, une augmentation de la performance au test de marche de six minutes est marquante (Vivodtzev et al, 2006; Bourjeily-Habr et al, 2002). Par contre, les études qui ont démontré ces augmentations au niveau de la force des quadriceps lors de l'utilisation de l'ÉSM ont été réalisées soit avec l'ajout de la contraction volontaire (Vivodtzev et al, 2006; Zanotti et al, 2003) ou chez un nombre limité de sujets. De plus, on suggère souvent comme piste de réflexion, la comparaison de l'ÉSM utilisée seule versus un programme de réadaptation traditionnel ou seulement l'étude de l'ÉSM afin d'obtenir des résultats tangibles pour cette technologie (Vivodtzev et al, 2006; Neder et al, 2002). Il y a malheureusement peu d'études publiées à ce sujet et peu d'études analysent l'ÉSM seul comme moyen de réadaptation.

Au niveau des changements physiologiques, l'ÉSM pour les patients atteints de MPOC semblerait apporter des résultats similaires aux études effectuées chez des populations asymptomatiques (tels que mentionnés dans les paragraphes précédents), soit une similitude des bénéfices musculaires à l'entraînement traditionnel (Neder et al, 2002). D'autres études sont présentement en cours afin d'évaluer clairement cette hypothèse.

Cette technique doit alors être considérée comme une valeur ajoutée quant à la réadaptation déjà en place et doit être intégrée dans la prise en charge globale du patient.

IV. MÉTHODOLOGIE

4.1 Sujets

Pour cette étude, 12 sujets furent recrutés où 9 sujets ont fait partie de l'étude jusqu'à la fin. Le nombre de 9 sujets étaient le minimum requis et cela fût basé sur un calcul de puissance (Cohen) où nous avons anticipé d'observer une augmentation de la force de pointe des extenseurs de la jambe de 10 N (CI95% 1.23-18.05), tel que mentionné par Roig et Reid (2008). Neuf sujets ont fait partie de l'étude. Chacun des sujets a été son propre contrôle, donc aucun groupe témoin ou contrôle n'ont fait partie de cette étude. Seuls les hommes et femmes présentant une MPOC et ayant été sédentaire depuis plus d'un an ont pu participer à l'étude. La fonction pulmonaire de chaque sujet participant à l'étude a été faite il y a moins de 9 mois et il a été approuvé et interprété par leur pneumologue respectif. La moyenne des VEMS prédit des sujets est de $28,44 \pm 15,65$ % ce qui représente un échantillon atteint sévèrement de MPOC. Huit des neuf sujets possèdent un VEMS prédit \leq que 45 %. Les sujets participant à l'étude pouvaient présenter d'autres pathologies qui ne sont pas inter-reliées avec la MPOC, comme par exemple, un sujet éprouvant des déficiences cardiovasculaires ou souffrant de diabète a pu être de l'étude. Il faut garder en tête l'application concrète d'une telle démarche. Les patients présentant une MPOC sont souvent âgés et présentent, dans la plupart des cas, une autre pathologie. Comme nous voulions de cette recherche une application pratique qui colle à la réalité, il a été impossible d'inclure des sujets souffrant uniquement de MPOC. Les sujets participant à l'étude ont été référés par divers pneumologues œuvrant au CHUM. Ces patients sont déjà suivis en pneumologie et ils ont été recommandés comme sujets potentiels pour le programme de réadaptation pulmonaire de l'Hôtel-Dieu (CHUM). Les sujets retenus sont, bien évidemment, volontaires. Le broncho-dilatateur à courte durée d'action et à longue durée d'action ainsi que les corticostéroïdes inhalés et le dérivé de la méthylxanthines ont été permis comme médication lors de l'expérimentation. Ils ont

dûment rempli et signé un formulaire de consentement qui a d'abord été approuvé par le comité de déontologie de l'UQAM. Enfin, les sujets étaient disponibles pour toute la durée de l'étude et ils n'ont participé à aucun autre programme de réadaptation pulmonaire tout au long de la durée de cette étude.

4.1.1 Critères d'exclusion

Ont été exclus de l'étude tous les patients présentant une anomalie physiologique leur empêchant de faire de l'activité physique de façon traditionnelle, même s'ils sont atteints de MPOC. Un anévrisme à l'abdomen peut servir d'exemple comme étant une anomalie empêchant un patient de pratiquer de l'activité physique comme le suggère un programme de réadaptation pulmonaire du type de l'Hôtel-Dieu.

4.2 Matériels utilisés

- Électrostimulateurs portables (2) de marque *Focus* (prêté par *Médecus*)
- 8 électrodes en caoutchouc réutilisables (10 cm de longueur, 4 cm de largeur)
- Gel conducteur de marque *Empi* (gel hypoallergénique)
- Rasoirs
- Ruban à mesurer
- Balance
- Chronomètre
- Ruban adhésif
- Appareil *Leg press*
- Tensiomètre
- Cardiofréquencemètre
- Dynamomètre

4.3 Protocole de recherche – Procédure expérimentale

La durée de l'étude a été de cinq semaines incluant une semaine de préparation des sujets ainsi que pour l'exécution des tests pré programme, trois semaines d'électrostimulation musculaire et la dernière semaine était consacrée à la prise des mesures post programme. L'expérimentation (le programme d'ÉSM) s'est déroulée à domicile, chez le sujet. Les tests pré et post programme ont eu lieu dans le gymnase de l'Hôtel-Dieu de Montréal (CHUM). Voyons maintenant l'organisation temporelle du déroulement des séances.

Semaine 1

1^{re} séance : Arrivée du sujet, explication relative à l'étude, signature du formulaire de consentement, prise des mesures pré programme (mesures anthropométriques, test de capacité fonctionnelle, test de capacité musculaire)¹.

Semaine 2, 3 et 4

2^e à la 16^e séance : Électrostimulation musculaire du sujet (au nombre de cinq séances par semaines)

Semaine 5

17^e séance : Prise des mesures post programme (mesures anthropométriques, test de capacité fonctionnelle, test de capacité musculaire) du sujet.

Maintenant, voyons comment une séance de réadaptation par l'électrostimulation musculaire a été divisée. Tout d'abord, les séances d'électrostimulation musculaire étaient d'une durée de 40 minutes chacune. Une heure en tout a été nécessaire si l'on inclut la préparation du patient. Lors de la séance d'électrostimulation, le sujet devait porter un pantalon court. Avant de commencer la séance, les signes vitaux, tel que la

¹ La description de chaque mesure est décrite un peu plus loin dans le texte.

tension artérielle (TA) et la fréquence cardiaque (FC) ont été prises au repos. Ensuite, il a fallu installer les électrodes sur le groupe musculaire sollicité et raser la surface de la peau où l'on appose ces dernières afin de s'assurer d'une bonne conduction électrique. De plus, du gel conducteur de type *Empi* était préalablement déposé sur l'électrode afin de maximiser la conduction. Ensuite, l'électrostimulation musculaire a été donnée et lorsque terminé, les électrodes ont été déplacées sur l'autre groupe musculaire sollicité avec la même préparation initiale. Lorsque l'électrostimulation musculaire complète (des deux groupes musculaires) était terminée, il a suffi d'essuyer le gel conducteur restant sur la peau du sujet. Une dizaine de minutes ont été écoulées afin que le sujet soit complètement au repos. C'est alors que les signes vitaux étaient repris (TA et FC) avant que la séance complète se termine et que le domicile du sujet soit quitté.

4.4 Protocole d'électrostimulation musculaire

Le volume total était de 40 minutes par séance. Les quinze séances ont été prévues dans le but d'améliorer la force. Pour ce qui est du protocole d'entraînement, il a été adapté à partir de la méta-analyse de Roig et Reid (2008). La fréquence de stimulation a été fixée à 50 Hertz (Hz) pour tous les sujets. Chacune des impulsions a eu une durée 400 μ s et l'intensité (courant) fût fixé, au départ, entre 10 et 20 mA. Par la suite, l'intensité a été augmentée au niveau le plus élevé pouvant être toléré par le sujet. Le tableau 1 et 2 qui suit représente l'évolution de chaque sujet au niveau de l'intensité du courant qui a été déployé lors de chaque séance. Pour chaque sujet, il est possible de voir une moyenne de l'intensité qui a été octroyée pendant la séance. Donc, nous pouvons constater l'évolution de la moyenne du courant par séance, et ce, pour chaque sujet. Si l'on s'attarde au tableau 1 et 2, il est possible de percevoir que la tolérance à l'intensité du courant pour chaque sujet était différente. La durée de chaque contraction a été de 10 secondes. Une période de récupération de 5 secondes était présente entre chaque contraction. Un total de 80 contractions ont été possibles

lors de l'ÉSM d'un groupe de muscles (au courant de la période de 20 minutes). Les muscles qui ont été sollicités pour l'augmentation de la force maximale par l'ÉSM étaient les quadriceps (droit du fémur, vaste intermédiaire, vaste médial, vaste latéral) et les mollets (gastrocnémiens). Le choix de ces deux groupes musculaires résulte en le fait qu'il faut entraîner des masses musculaires importantes pour observer des changements notables et cela surtout au niveau fonctionnel (Cometti, 2004).

La fréquence cardiaque a été mesurée chaque minute lors de l'ÉSM à l'aide d'un cardiofréquencemètre. En mesurant ce paramètre, il a été possible de voir la réponse physiologique du sujet à ce traitement et d'en voir les conséquences au niveau de la fréquence cardiaque, lors de la partie analyse. Ce paramètre a servi comme étant un contrôle à l'effort demandé par l'ÉSM. Enfin, cela nous a permis de constater si le traitement a eu un effet sur la FC, comme le ferait un effort régulier demandé à l'exercice traditionnel.

La tension artérielle a été mesurée au repos, à la 10^e minute de l'ÉSM du groupe musculaire en question et à la 20^e minute de l'ÉSM. Ce paramètre a été mesuré de la même façon pour les deux groupes musculaires, et ce, à l'aide d'un tensiomètre. En mesurant ce paramètre, il a été possible de constater si l'ÉSM a eu certains effets sur la TA lors de la partie analyse. Donc, cela nous a permis de discerner si le traitement d'ÉSM a eu un effet sur la TA, comme l'aurait fait un effort régulier lors de l'exercice classique.

Tableau 1 Moyenne de l'intensité du courant utilisé lors des séances d'électrostimulation (ÉSM) des quadriceps

		Intensité (mA)														
Semaines		1					2					3				
Séances		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Sujets																
1		11	13	11	14	14	11	12	13	12	12	13	14	14	14	14
2		13	13	16	16	14	13	13	13	10	10	11	11	10	12	12
3		12	14	13	15	18	15	15	16	17	17	19	18	18	18	18
4		16	20	20	28	28	28	28	24	26	25	28	28	29	28	30
5		13	16	19	17	24	29	21	18	22	20	23	24	26	27	27
6		17	14	17	16	16	18	14	15	17	16	16	16	16	16	16
7		16	16	18	21	30	30	20	22	21	21	23	24	28	29	29
8		17	28	26	30	26	28	26	25	28	25	21	20	20	20	20
9		19	20	20	22	20	21	21	21	22	22	27	20	22	23	24
Moyenne		15	17	18	20	21	21	19	19	19	19	20	19	20	21	21
Écart-type		3	5	4	6	6	8	6	5	6	5	6	5	7	6	7

Légende : mA = milliampères; ÉSM = électrostimulation musculaire

Tableau 2 Moyenne de l'intensité du courant utilisé lors des séances d'électrostimulation (ÉSM) des mollets

		Intensité (mA)														
Semaines		1					2					3				
Séances		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Sujets																
1		10	13	10	15	13	12	12	13	12	12	15	12	12	13	13
2		11	14	13	15	14	12	11	12	14	10	10	15	12	12	13
3		11	14	14	15	17	20	15	16	18	17	18	19	19	19	18
4		14	17	19	28	28	27	28	26	25	26	28	28	29	29	29
5		19	20	34	26	26	24	18	16	20	27	27	28	28	25	29
6		18	13	17	18	17	16	14	14	11	15	15	16	16	16	16
7		13	16	21	22	32	31	28	25	27	18	23	27	27	30	30
8		31	29	31	31	27	25	25	24	27	24	20	20	21	22	20
9		23	21	22	21	21	22	22	22	22	22	24	12	19	21	24
Moyenne		17	17	20	21	22	21	19	19	20	19	20	20	20	21	21
Écart-type		7	5	8	6	7	7	7	6	6	6	6	7	7	6	7

Légende : mA = milliampères; ÉSM = électrostimulation musculaire

4.5 Mesures pré et post entraînement

Les mesures pré entraînement ou pré programme se sont effectuées de 3 à 5 jours avant la première séance d'électrostimulation musculaire. Pour ce qui est des mesures post entraînement ou post programme, elles se sont effectuées semaine suivante la dernière séance d'ÉSM, donc de 3 à 5 jours après cette dernière séance. Tous les tests se sont déroulés au gymnase de l'Hôtel-Dieu de Montréal (CHUM).

➤ **Mesures anthropométriques - Masse, grandeur, tour de taille et l'IMC calculé à partir de la masse et la grandeur.**

L'objectif dans lequel la masse, la grandeur, le tour de taille et l'IMC des sujets ont été pris en considération a eu pour but de recueillir des données descriptives de l'échantillon.

➤ **Capacité fonctionnelle - Test de marche de 6 minutes**

L'objectif de ce test est de mesurer la capacité fonctionnelle du sujet. Ainsi en exécutant ce test avant et après le programme, il a été possible d'analyser et d'observer si la capacité fonctionnelle du sujet s'est améliorée ou est restée sensiblement la même. Le test de marche de 6 minutes consiste à mesurer la distance la plus grande possible que peut parcourir un sujet, et ce, sur une surface plane, en six minutes. Ce test a été effectué à deux reprises, et ce, pour chaque patient comme le suggère Kervio et al (2003). Nous avons conservé les résultats de la 2^e passation autant pré que post programme. À l'aide de ce test, il est possible de faire une évaluation globale de la capacité fonctionnelle du sujet à l'exercice. « Il évalue la réponse intégrée des systèmes cardio-vasculaires, respiratoire et musculaire lors de l'effort. » (Kafi et Deboeck, 2005). De plus, ce test est très souvent utilisé et recommandé chez les sujets atteints de MPOC puisqu'il est mieux toléré, il est pratique (simple à réaliser) et il reflète très bien les activités de la vie quotidienne (AVQ) puisque ce test consiste à marcher (Kafi et Deboeck, 2005).

➤ **Capacité musculaire – Force**

L'objectif de mesurer la capacité musculaire, soit la force, est de voir l'amélioration de cette qualité avant et après le programme d'ÉSM. Il a été possible de déterminer les impacts de l'entraînement par ÉSM sur la capacité de travail ou d'effort des sujets. Nous avons mesuré la force des muscles sollicités par l'ÉSM, soit les quadriceps et les mollets, lors d'un test au *Leg press*. Brièvement, un poids situé à 85 % de la masse corporelle a été utilisé initialement lors de la première poussée. Par la suite, le poids a été augmenté au point où le sujet n'arrivait plus à soulever le poids. Une période de récupération de deux minutes a été effectuée entre chaque poussée. Le poids final soulevé a été considéré comme étant le 1 RM.

De plus, la force de préhension a été prise en considération avant et après le programme d'ÉSM. La prise de la force de préhension s'est exécutée exactement comme le suggère la Société canadienne de physiologie de l'exercice dans le *Guide du conseiller en condition physique et habitudes de vie* (Gledhill, 2004), c'est-à-dire à l'aide d'un dynamomètre. L'objectif de ce test consistait à voir s'il y avait amélioration de la force de préhension pré et post programme d'ÉSM même si cette dernière s'effectuait au niveau des membres inférieurs.

4.6 Analyses statistiques

En ce qui concerne la partie descriptive de l'étude, les variables dépendantes telles qu'énumérées plus haut ont été présentées par des valeurs moyennes \pm écart-type (É.T.). Des comparaisons pré et post entraînement (mesures répétées) ont été effectuées en utilisant le test t païré de Student. Le seuil de confiance fût établi à $p < 0,05$. L'analyse des données a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS (version 15.0) ainsi qu'à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel (version 2007).

V. RÉSULTATS

Les données qui sont présentées dans cette section sont celles recueillies lors des tests pré et post programme. De plus, on y retrouve les fréquences cardiaques prises lors des séances d'électrostimulation musculaire ainsi que la tension artérielle prise aussi lors de ces séances. Enfin, il est possible de constater les données descriptives de l'échantillon, comprenant les fonctions pulmonaires de chacun des sujets.

5.1 Description des sujets

Le tableau 3 ci-dessous présente les données anthropométriques de chaque sujet. Certaines catégories ont des données pré et post programme puisque ces variables ont été prises avant et après le programme d'électrostimulation musculaire (ÉSM). Neuf sujets de sexe masculin et féminin répondant aux critères énoncés dans la méthodologie ont participé à l'étude. Trois de ces sujets sont de sexe féminin et six sont de sexe masculin. La moyenne d'âge des sujets était de $65,4 \pm 5$ ans. La moyenne de la grandeur des sujets se situait à $1,69 \pm 0,10$ m. Au niveau de la masse de l'échantillon, on retrouve une moyenne de $80,33 \pm 22,41$ kg avant le programme et de $79,61 \pm 22,45$ kg après le programme. Une différence de 0,72 kg entre les deux moyennes. Il est possible de remarquer qu'avec les données pré et post au niveau de la masse, aucune tendance ne se dessine. Quant à l'indice de masse corporelle (IMC), avant de débiter le programme, elle était de $28,3 \pm 7,7$ kg/m² et post programme, on a retrouvé la moyenne de l'IMC à $28,0 \pm 7,7$ kg/m², ce qui représente une diminution de la moyenne de 0,30 kg/m². Pour cette mesure anthropométrique, aucune tendance n'est remarquée. Pour ce qui est du tour de taille des sujets, la moyenne s'est située à $105,44 \pm 15,90$ cm pré programme et elle était de $105,33 \pm 16$ cm post programme. On peut donc remarquer une différence entre les deux moyennes de 0,10 cm. Encore une fois, on constate qu'il n'y a aucune tendance au niveau de cette donnée recueillie pré et post programme.

Tableau 3 Données anthropométriques (pré et post programme d'ÉSM) des 9 sujets.

Sujets	Sexe	Âge (ans)	Grandeur (m)	Poids (kg)		IMC (kg/m ²)		Tour de taille (cm)	
				Pré	Post	Pré	Post	Pré	Post
1	F	61	1,64	113,19	111,5	42,1	41,5	127	125
2	F	67	1,68	98	97	34,8	34,4	117,5	117
3	F	77	1,50	68	68,19	30,2	30,3	113	112,5
4	M	68	1,78	82	81,82	25,9	25,8	102,5	102,5
5	M	65	1,60	51	47,72	19,9	18,6	85,5	82,5
6	M	61	1,70	58	57,3	20,1	19,8	80,5	80,5
7	M	62	1,70	69	69,54	23,9	24,5	99	102
8	M	63	1,78	111	110	35,0	34,7	122	123
9	M	65	1,80	73	73,5	22,5	22,7	102	103
Moyenne		65,4	1,69	80,33	79,61 ^{NS}	28,3	28,0 ^{NS}	105,44	105,33 ^{NS}
Écart-type		5,00	0,10	22,41	22,45	7,7	7,7	15,90	16,00

Légende : NS = Différence non-significative Pré vs Post; VEMS = volume expiration maximal en une seconde; IMC = indice de masse corporelle

5.2 Tests pré et post programme d'électrostimulation musculaire (ÉSM)

Le tableau 4 ci-dessous présente les fonctions pulmonaires de chaque sujet. Tout d'abord, la première donnée représente la capacité vitale forcée (CVF). Ensuite, le volume expiratoire maximal par seconde (VEMS) est indiqué suivi de la même donnée, mais celle prédite (VEMS prédit). Enfin, on retrouve le débit de pointe (DdP) ainsi que le débit de pointe (DdP) prédit. On retrouve en fin de tableau, les moyennes et les écarts-types pour chaque catégorie (celles mentionnées précédemment). Il est possible de remarquer que la moyenne des sujets en ce qui a trait au VEMS prédit est de $28,44 \pm 15,65 \%$ ce qui démontre que la MPOC des sujets choisis est de type sévère. Il est possible d'apercevoir que 8 des neuf sujets possèdent un VEMS prédit $\leq 45 \%$.

Tableau 4 Fonction pulmonaire des 9 sujets

Sujets	CVF (L)	VEMS (L)	VEMS (% prédit)	DdP (L/s)	DdP (% prédit)
1	0,42	0,24	10	0,61	10
2	2,18	1,10	45	2,96	51
3	1,78	0,45	31	1,04	22
4	3,43	1,94	60	5,13	61
5	2,81	0,76	30	2,29	33
6	1,48	0,78	24	2,73	32
7	1,86	0,43	14	2,43	32
8	1,34	0,64	20	2,56	31
9	1,76	0,69	22	2,39	29
Moyenne	1,90	0,78	28,44	2,46	33,44
Écart-type	0,86	0,50	15,65	1,27	14,91

Légende: CVF = capacité vitale forcée; VEMS = Volume expiratoire maximal par seconde; DdP = débit de pointe.

5.3 Tests pré et post programme d'électrostimulation musculaire (ÉSM)

Le tableau 5 ci-dessous présente les données recueillies lors des tests pré et post ÉSM, et ce, pour chaque sujet. Trois tests ont été effectués avant le programme et après ce dernier (15 séances d'ÉSM). Ils se sont déroulés comme énoncés dans la méthodologie. Une moyenne ainsi que l'écart-type se retrouvent en bas du tableau, pour chaque test exécuté. Au niveau des résultats, il est possible de constater une augmentation significative ($p < 0,019$) de la distance parcourue au test de marche de 6 minutes. La moyenne des neuf sujets participants au programme, lors du test de marche de 6 minutes, avant l'ÉSM est de $232,2 \pm 111,1$ m. Lorsque l'on regarde la colonne post programme, il est possible d'apercevoir une moyenne de $244,4 \pm 116,1$ m. Donc, une augmentation de la moyenne pour le test de marche de 6 minutes de 12,2 m. Il est donc possible de noter un résultat significatif quant à l'amélioration du nombre de mètres au test de marche de 6 minutes entre les données pré et post programme. Au niveau du test de répétition maximale (1RM) au *leg press*, il est possible de voir une augmentation significative ($p < 0,004$) quant à la poussée maximale pré versus post programme. La moyenne pré programme est de $192,2 \pm 117$ lb et celle post programme est de $208,9 \pm 124,1$ lb. Donc, une augmentation de la moyenne en ce qui concerne le test de 1 RM de 16,7 lb. On peut aussi remarquer une tendance à ce test ainsi qu'un résultat significatif quant à l'amélioration du nombre de livres entre le test de 1 RM pré et celui post programme. Enfin, au niveau de la force de préhension, la moyenne des neuf sujets lors du test avant l'ÉSM se situe à $132,9 \pm 49,3$ lb et lors de ce même test effectué après l'ÉSM, nous retrouvons une moyenne de $141,6 \pm 50,2$ lb, toutefois cette différence n'est pas significative ($p < 0,150$). Donc, une augmentation de la moyenne de 8,7 livres. Encore une fois, il est possible de dénoter une tendance voulant une amélioration de la force de préhension grâce au programme d'ÉSM, sans noter toutefois un résultat significatif.

Tableau 5 Tests pré et post programme d'ÉSM

Sujet	Marche 6 min (m)		1 RM (lb)		Force de préhension (lb)	
	Pré	Post	Pré	Post	Pré	Post
1	120	130	40	40	60	64
2	235	245	220	240	115	121
3	120	140	40	60	60	85
4	415	425	240	280	150	155
5	130	130	80	80	111	105
6	385	420	280	300	165	210
7	290	295	260	280	185	180
8	180	175	380	400	190	190
9	215	240	190	200	160	164
Moyenne	232,2	244,4*	192,2	208,9*	132,9	141,6 ^{NS}
Écart-type	111,1	116,1	117	124,1	49,3	50,2

Légende: * Différence significative Pré vs Post, $p < 0,05$; NS = Différence non-significative Pré vs Post; ÉSM = électrostimulation musculaire; 1 RM = répétition maximale

5.4 Fréquences cardiaques (FC) lors de trois séances (1^{re}, 7^e et 15^e) d'électrostimulation musculaire (ÉSM) des quadriceps

Les données du tableau 6 ci-dessous présentent les FC recueillies lors de la première, de la septième ainsi que de la dernière séance (1-7-15), et ce, pour chaque sujet. Les FC présentées dans le tableau sont celles recueillies lors de l'ÉSM des quadriceps. Une prise de la FC toutes les minutes durant chaque séance a été effectuée, mais ce que l'on retrouve dans le tableau 6 qui suit c'est la FC recueillie toutes les cinq minutes. En fin de tableau, une moyenne ainsi que l'écart-type sont indiqués pour chaque tranche de cinq minutes. Au niveau des résultats, il est possible de remarquer

que la moyenne des neuf sujets lors de la séance 15 a diminué par rapport à la séance 1, si l'on compare les tranches de cinq minutes entre elles. Il est possible de bien visualiser cette diminution à la figure 2 ainsi que d'observer cette tendance, toutefois, celle-ci n'est pas significative. La moyenne des FC des neuf sujets à la séance 1 au repos est de 89 ± 12 bpm, à la séance 7 on retrouve une moyenne de 88 ± 10 bpm et pour ce qui est de la dernière séance, 87 ± 12 bpm est la moyenne notée. Si l'on s'attarde à la cinquième minute, la moyenne pour la séance initiale est de 90 ± 12 bpm suivie de 88 ± 11 bpm pour la séance centrale et de 87 ± 13 bpm pour la séance finale. Lors de la dixième minute, la moyenne de la FC à la séance 1 est de 89 ± 11 bpm, à la septième séance elle est de 89 ± 13 bpm et pour la quinzième séance elle est de 84 ± 12 bpm. Si l'on s'attarde à la quinzième minute, la moyenne des FC est de 87 ± 12 bpm pour la séance 1, 84 ± 12 bpm pour la séance 7 et elle est de 85 ± 12 bpm pour la séance 15. Enfin, en ce qui concerne la vingtième minute, pour la séance 1, la moyenne des FC pour tous les sujets est de 86 ± 10 bpm, pour la séance 7 on retrouve une moyenne de 86 ± 12 bpm et enfin, pour la séance 15, une moyenne de 84 ± 13 bpm est notée. Malgré qu'il n'y ait pas de différence significative au niveau de la moyenne des FC des sujets entre chaque séance, on peut noter une tendance voulant que la moyenne des FC des sujets diminue entre la première et la dernière séance.

Ensuite, si l'on s'attarde à la lecture des données de chaque sujet, on remarque une diminution ou un maintien, en général, des FC entre la séance 1 et la séance 15. Seulement chez un sujet (sujet 5), que l'on peut observer une augmentation des FC entre la séance 1 et la séance 15. De plus, il est intéressant de constater que les FC n'effectuent aucune augmentation prononcée au fil de la séance. Si l'on compare la cinquième minute avec la vingtième minute, on peut observer qu'il y a une diminution ou un maintien de la FC.

Tableau 6 FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps

Séance	FC (bpm)														
	1					7					15				
	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
Sujets															
1	98	102	96	93	90	98	101	101	98	100	99	94	97	98	97
2	111	108	102	108	102	89	85	91	87	85	76	75	74	76	72
3	76	74	77	74	72	78	77	74	74	74	81	76	76	74	74
4	90	83	77	75	75	89	87	83	83	80	78	76	80	76	77
5	85	87	89	83	93	85	95	107	80	96	106	103	101	98	98
6	72	76	75	75	75	77	72	71	68	72	70	66	67	66	66
7	89	92	97	94	91	104	104	103	104	103	99	97	95	98	99
8	101	102	103	95	94	93	93	93	90	92	91	94	89	94	92
9	83	84	81	83	81	75	79	77	74	74	81	78	81	81	77
Moyenne	89	90	89	87	86	88	88	89	84	86	87	87	84	85	84
Écart-type	12,34	12,05	11,31	11,61	10,45	9,88	10,99	13,29	11,80	11,95	12,39	12,74	11,62	12,48	12,84

Légende: FC = fréquence cardiaque; ÉSM = électrostimulation musculaire; bpm = battements par minute; min = minute

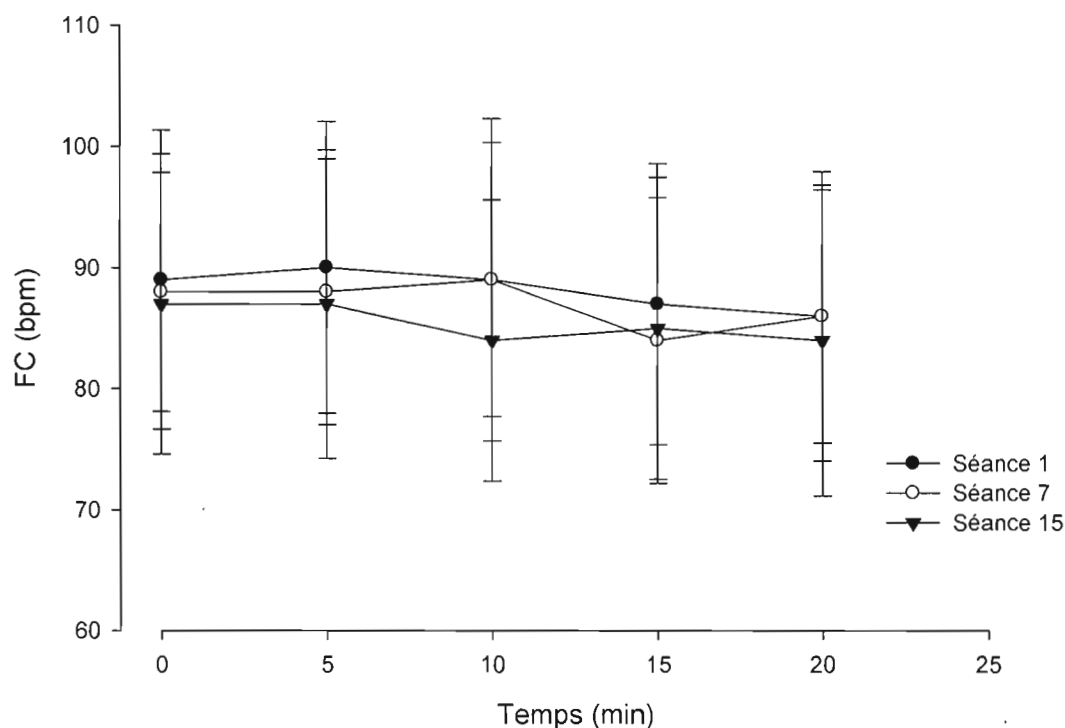


Figure 2 FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps

Légende : ÉSM = électrostimulation musculaire; FC = fréquence cardiaque; bpm = battements par minute; min = minute

5.5 Fréquences cardiaques (FC) lors de trois séances (1^{re}, 7^e et 15^e) d'électrostimulation musculaire (ÉSM) des mollets

Les données du tableau 7 ci-dessous présentent les FC recueillies lors de la première séance, de la septième ainsi que de la dernière (1-7-15), et ce, pour chaque sujet. Les FC présentées dans le tableau sont celles recueillies lors de l'ÉSM des mollets. Une prise de la FC toutes les minutes durant chaque séance a été accomplie, mais on retrouve dans le tableau qui suit, les résultats de la FC obtenus toutes les cinq minutes. En fin de tableau, on retrouve une moyenne ainsi que son écart-type pour chaque tranche de cinq minutes. Au niveau des résultats, il est possible de remarquer que la moyenne des neuf sujets lors de la séance 15 s'est maintenue par rapport à la

séance 1, si l'on compare les tranches de cinq minutes entre elles. La moyenne des FC des neuf sujets à la séance 1 au repos est de 86 ± 13 bpm comparativement à 84 ± 12 bpm à la séance 7 et 89 ± 13 bpm à la séance 15. Lors de la cinquième minute, la moyenne des FC des sujets est de 86 ± 12 bpm pour la première séance, 83 ± 11 bpm pour la séance 7 et de 86 ± 12 bpm pour la dernière séance. En ce qui a trait à la dixième minute, on retrouve une moyenne de la FC pour tous les sujets de 88 ± 13 bpm lors de la séance initiale, 85 ± 11 bpm pour la séance 7 et une moyenne atteignant 84 ± 11 bpm pour la séance finale. Pour la quinzième minute, une moyenne de 86 ± 11 bpm est notée lors de la première séance, une moyenne de 83 ± 12 bpm se retrouve à la septième séance et une moyenne de 84 ± 11 bpm est inscrite pour la dernière séance. Si l'on s'attarde à la vingtième minute, on remarque une moyenne des FC de 84 ± 12 bpm pour la séance 1 suivie de 83 ± 11 bpm pour la séance 7 et une moyenne atteignant 83 ± 12 bpm pour la séance 15. Comme il n'y a aucune différence significative entre les moyennes entre chaque séance, mais que ces dernières se maintiennent, on peut noter une tendance voulant que la moyenne des FC des sujets se maintienne entre chaque séance et ne tende pas à augmenter. Grâce à la figure 3, il est possible de remarquer ce phénomène et de constater que la FC n'effectue pas de changement significatif au cours d'une séance et même au cours du programme.

Ensuite, si l'on s'attarde à la lecture des données de chaque sujet, il est possible de voir, en général, un maintien ou même une légère diminution, des FC entre la première et la dernière séance. On peut observer que seulement chez un sujet (sujet 5), on retrouve une augmentation des FC entre la première et la dernière séance. De plus, il est intéressant de constater que les FC n'effectuent aucune augmentation prononcée au fil de la séance. Si l'on compare la cinquième minute avec la vingtième minute, on peut observer qu'il y a une diminution ou un maintien de la FC. La figure 3 démontre bien ce phénomène.

Aussi, si l'on compare le tableau 6 avec le tableau 7, il est possible de constater qu'il y a une diminution de la FC entre la stimulation musculaire des deux groupes de muscles. Les FC lors de l'ÉSM des quadriceps sont généralement plus hautes que lors de la stimulation musculaire des mollets. Si l'on compare les moyennes du tableau 6 avec celles du tableau 7, la diminution n'est pas significative, quoique présente, et si l'on compare chaque sujet avec lui-même, il est possible de voir, en général, cette diminution entre la stimulation musculaire des quadriceps et celle des mollets.

Tableau 7 FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets

Séances Temps (min)	FC (bpm)														
	1					7					15				
	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
Sujets															
1	80	90	87	86	89	98	101	101	98	101	98	92	90	92	91
2	99	105	107	104	101	88	84	86	95	80	84	80	78	78	78
3	70	72	71	79	68	71	71	74	70	72	82	80	81	78	76
4	75	74	72	70	70	79	73	75	75	78	78	76	73	73	71
5	95	89	104	94	80	92	76	84	80	80	110	102	101	98	98
6	73	72	76	73	73	66	75	75	68	70	73	68	68	69	68
7	95	93	91	91	91	101	99	104	99	98	108	100	98	100	98
8	107	99	92	96	99	87	87	89	88	92	89	94	92	90	93
9	83	81	88	85	83	77	79	77	78	79	78	80	77	78	74
Moyenne	86	86	88	86	84	84	83	85	83	83	89	86	84	84	83
É. T.	13,05	12,07	12,89	11,10	12,13	11,94	11,01	11,29	11,94	11,06	13,49	11,64	11,49	11,21	11,93

Légende: FC = fréquence cardiaque; ÉSM= électrostimulation musculaire; bpm = battements par minute; min = minute; É.T. = Écart-type

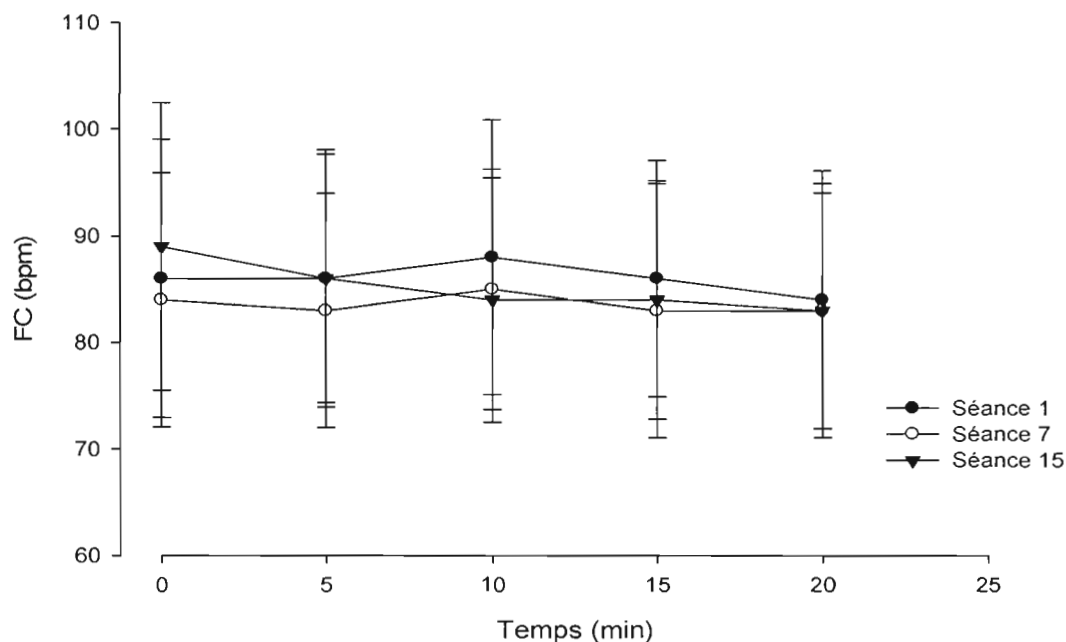


Figure 3 FC lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets

Légende : ÉSM = électrostimulation musculaire; FC = fréquence cardiaque; bpm = battements par minute; min = minute

5.6 Tension artérielle (TA) lors de trois séances d'électrostimulation musculaire (ÉSM) des quadriceps (1^{re}, 7^e et 15^e)

Les données du tableau 8 ci-dessous présentent les TA recueillies lors de la première séance, de la septième séance ainsi que de la dernière séance (1-7-15), et ce, pour chaque sujet. Les TA présentées dans le tableau 8 sont celles recueillies lors de l'ÉSM des quadriceps. Une prise de la TA au repos, à la dixième minute ainsi qu'à la dernière minute ont été effectuées à chaque séance, et c'est ce que l'on retrouve dans le tableau 8 qui suit. En fin de tableau, une moyenne ainsi que l'écart-type sont montrés pour chaque période de dix minutes ainsi que pour les trois séances sélectionnées.

La moyenne de la TA (Sys/Dia \pm ÉT, voir Tableau 8) pour la première séance, au repos est de 129/71 \pm 21/13 mm Hg. À la dixième minute, on constate 127/74 \pm 19/9 mm Hg et lors de la vingtième minute, on retrouve une moyenne de la TA de 129/76 \pm 18/12 mm Hg. À la septième séance, la TA moyenne au repos est de 133/79 \pm 10/14 mm Hg, suivi de 124/78 \pm 16/8 mm Hg pour la dixième minute et lors de la vingtième minute, on retrouve une moyenne de 137/78 \pm 14/9 mm Hg. Enfin, lors de la dernière séance, la moyenne de la TA lors de la minute de repos est de 133/73 \pm 15/10 mm Hg suivi de 132/73 \pm 18/11 mm Hg pour la dixième minute et de 130/71 \pm 16/11 mm Hg pour la dernière minute de la séance.

Il est possible de constater une tendance voulant que la TA moyenne diminue à la dixième minute de la séance. C'est la tension artérielle systolique qui diminue plus considérablement. Cette dernière diminue de 1 à 9 mm Hg par rapport à la donnée recueillie au repos. La TA diastolique diminue légèrement ou se maintient. Il est possible de discerner cette tendance en regardant la figure 4, qui exprime bien cette diminution à la dixième minute. En ce qui concerne la variation de la TA entre les séances, on ne peut en remarquer aucune.

Tableau 8 TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps

Sujets	Séances																	
	1						7						15					
	0 min		10 min		20 min		0 min		10 min		20 min		0 min		10 min		20 min	
Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	
1	110	60	118	80	118	98	140	91	138	90	142	90	112	74	108	70	106	68
2	126	60	116	60	106	64	140	94	140	90	142	82	134	72	132	70	130	70
3	138	60	140	72	134	64	132	61	98	71	127	64	130	62	122	58	125	58
4	126	70	122	68	126	70	119	58	108	72	135	73	150	66	122	66	135	67
5	150	88	146	80	148	82	140	73	123	72	156	78	130	76	149	75	142	71
6	110	74	106	70	114	72	114	80	109	75	114	77	118	70	112	67	110	67
7	165	90	161	92	163	88	142	73	144	74	154	82	158	96	166	96	158	94
8	97	57	103	70	118	67	137	95	128	72	127	70	128	64	139	63	124	66
9	138	84	128	78	132	80	130	86	130	84	140	88	140	80	136	78	140	82
Moy.	129	71	127	74	129	76	133	79	124	78	137	78	133	73	132	73	130	71
É.T.	21,40	13,16	19,14	9,21	17,87	11,73	10,06	13,75	16,05	7,95	13,42	8,38	14,46	10,30	18,32	10,98	16,16	10,51

Légende: TA; tension artérielle ÉSM= électrostimulation musculaire; Sys = tension artérielle systolique; Dia = tension artérielle diastolique; min = minute; Moy. = moyenne; É.T. = écart-type

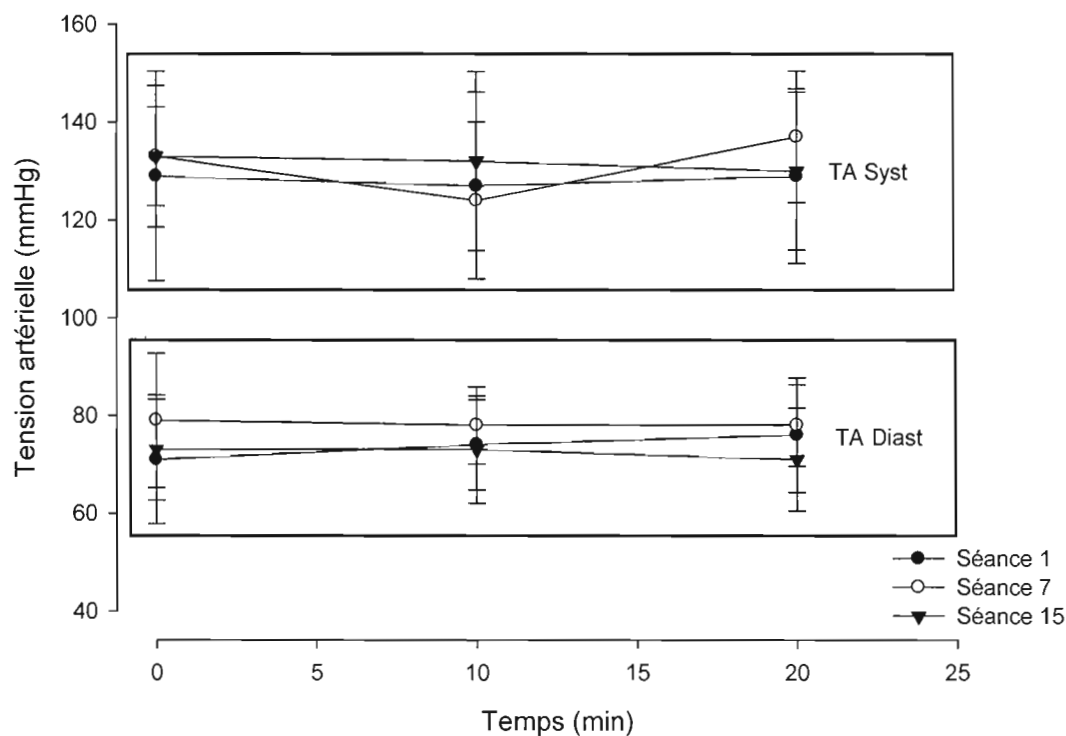


Figure 4 TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des quadriceps

Légende : TA = tension artérielle; TA Syst. = tension artérielle systolique; TA Diast. = tension artérielle diastolique; mm Hg : millimètre de mercure; min = minute; ÉSM = électrostimulation musculaire

5.7 Tension artérielle (TA) lors de trois séances d'électrostimulation musculaire des mollets (1^{re}, 7^e et 15^e)

Les données du tableau 9 ci-dessous arborent les TA recueillies lors de la première séance, de la septième séance ainsi que de la dernière séance (1-7-15), et ce, pour chaque sujet. Les TA présentées dans le tableau 9 sont celles recueillies lors de l'ÉSM des mollets. On retrouve dans le tableau qui suit la prise de la TA au repos, à la dixième minute ainsi qu'à la dernière minute de chaque séance. En fin de tableau, une moyenne ainsi que l'écart-type sont indiqués pour chaque tranche de dix minutes, et ce, que pour les trois séances choisies.

La moyenne de la TA pour la première séance, au repos est de $129/72 \pm 17/8$ mm Hg. À la dixième minute, on constate $123/70 \pm 12/8$ mm Hg et lors de la vingtième minute, on remarque une moyenne de la TA de $124/70 \pm 15/9$ mm Hg. À la septième séance, la TA moyenne au repos est de $136/82 \pm 13/9$ mm Hg, suivi de $131/76 \pm 10/9$ mm Hg pour la dixième minute et lors de la vingtième minute, on retrouve une moyenne de $134/75 \pm 9/10$ mm Hg. Enfin, lors de la dernière séance, la moyenne de la TA lors de la minute de repos est de $131/71 \pm 13/9$ mm Hg suivi de $127/69 \pm 12/8$ mm Hg pour la dixième minute et de $132/72 \pm 15/8$ mm Hg pour la dernière minute de la séance.

Il est possible de constater une tendance voulant que la TA moyenne diminue à la dixième minute de la séance. La TA systolique et diastolique diminue à la dixième minute. Par contre, on remarque diminution plus marquée au niveau de la TA systolique. Elle diminue de 4 à 6 mm Hg par rapport à la donnée de repos. Il est possible de bien visualiser cette tendance en se référant à la figure 5, qui exprime bien cette diminution à la dixième minute. En ce qui concerne la variation de la TA entre les séances, on ne peut en remarquer aucune.

Tableau 9 TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets

Sujets	Séances																	
	1						7						15					
	0 min		10 min		20 min		0 min		10 min		20 min		0 min		10 min		20 min	
Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	Sys	Dia	
1	110	60	110	64	110	60	140	90	142	88	140	90	110	70	112	72	108	68
2	110	70	106	68	102	60	140	88	142	86	142	82	128	68	124	64	130	70
3	134	64	128	60	130	60	125	94	125	58	122	54	122	56	118	56	124	62
4	136	70	122	66	112	60	138	71	125	73	137	73	132	67	132	63	149	68
5	130	76	126	70	132	74	146	78	138	77	140	70	146	74	140	71	142	74
6	120	72	116	68	122	76	114	77	117	76	117	79	120	70	114	68	117	70
7	163	88	147	88	154	80	154	82	120	79	136	74	152	88	148	80	152	84
8	118	67	122	68	121	78	123	66	139	73	139	75	131	64	122	67	121	66
9	136	80	126	76	132	80	142	88	136	82	139	86	142	82	136	80	142	86
Moy.	129	72	123	70	124	70	136	82	131	76	134	75	131	71	127	69	132	72
É.T.	16,59	8,49	11,86	8,09	15,41	9,46	12,60	9,33	10,31	9,22	9,31	10,42	13,41	9,49	12,37	7,83	15,32	8,06

Légende: TA; tension artérielle ÉSM= électrostimulation musculaire; Sys = tension artérielle systolique; Dia = tension artérielle diastolique; min = minute; Moy. = moyenne; É.T = écart-type

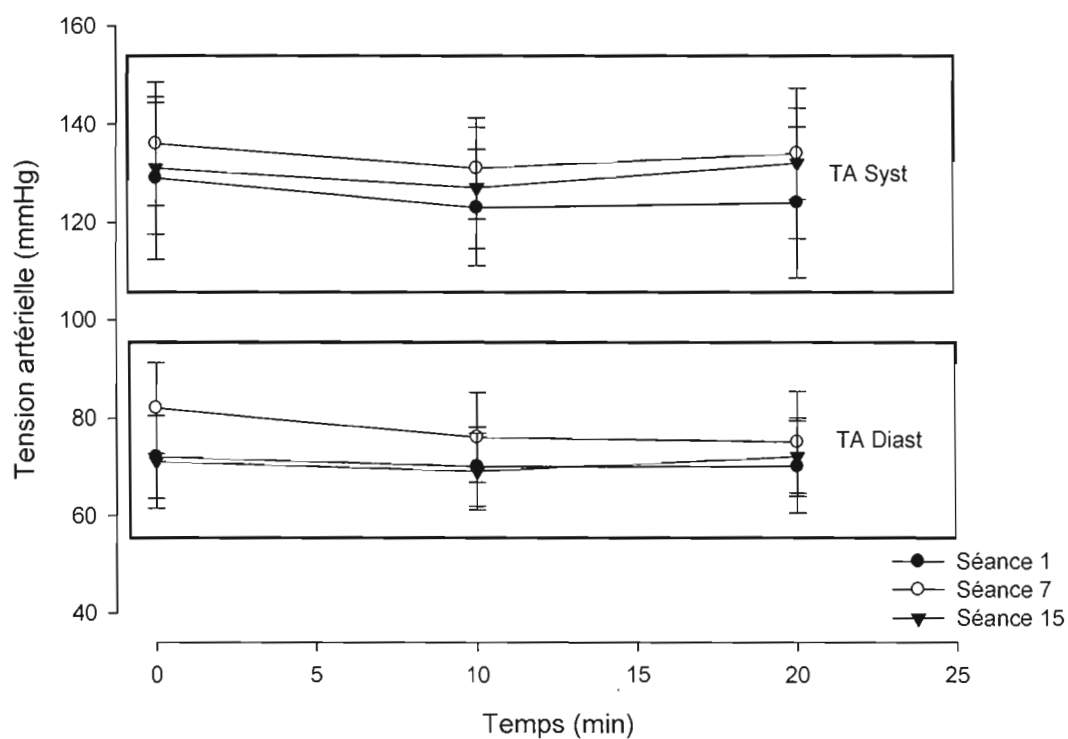


Figure 5 TA lors de trois séances (1-7-15) d'ÉSM des mollets

Légende : TA = tension artérielle; TA Syst. = tension artérielle systolique; TA Diast. = tension artérielle diastolique; mmHg : millimètre de mercure; min = minute; ÉSM = électrostimulation musculaire

VI. DISCUSSION

Les résultats présentés dans la section précédente, confirme l'hypothèse alternative énoncée au départ voulant que l'ÉSM des muscles périphériques permette l'augmentation de la force de ces derniers (dans ce cas-ci, les membres inférieurs) ainsi qu'une augmentation de la capacité fonctionnelle chez les patients présentant une MPOC de type sévère. Il est plus difficile de concrètement évaluer si une telle méthode, soit l'ÉSM, a contribué à améliorer la qualité de vie des patients ayant une MPOC, mais il est fort probable que l'augmentation de la force des membres inférieurs ait contribué à l'augmentation de la capacité fonctionnelle et ainsi possiblement faire un lien avec l'augmentation de la qualité de vie. Par exemple, bien que plusieurs autres éléments puissent être considérés pour l'évaluation de la qualité de vie, ces derniers sont maintenant capables de parcourir une plus grande distance à la marche durant 6 minutes les rendant ainsi vraisemblablement aptes à exécuter davantage d'activités de la vie quotidienne. De plus, il a été possible de constater qu'aucune complication (blessures, rougeurs, aucune difficulté à supporter les traitements, etc.) n'est survenue durant le programme et que les sujets n'ont trouvé aucun inconfort considérable lors de l'ÉSM. Aucun dommage à la peau des sujets n'a été constaté après 15 séances d'ÉSM, ce qui concorde avec la revue de la littérature quant à l'utilisation d'un courant biphasique afin de réduire les risques de brûlure ou de sensation de brûlure cutanée (Decherchi et al, 2002). Enfin, aucun sujet n'a abandonné pendant la durée du programme dû à la difficulté de ce dernier. Au départ, nous devions avoir douze sujets, mais trois d'entre eux ont abandonné avant même de débiter le programme. Tous ces aspects, et bien d'autres seront expliqués plus en détail dans les pages qui suivent.

6.1 Analyse des tests pré et post programme

Les données recueillies démontrent une amélioration significative au niveau des tests post pour la marche de 6 minutes ainsi que pour la répétition maximale (1RM) au *leg press*. Les données recueillies lors de ces tests représentent la partie la plus importante de cette étude puisque c'est avec ces données et leurs analyses qu'il nous a été possible de constater la pertinence de l'ÉSM lors de la prise en charge du patient. L'ÉSM semble avoir eu un rôle majeur dans l'augmentation de la force des membres inférieurs ainsi que dans l'augmentation de la capacité fonctionnelle. Si l'on s'attarde au tableau 4 (tests pré et post programme), il est possible de constater qu'au niveau du test de marche de 6 minutes et pour ce qui est du test de répétition maximale au *leg press* la différence entre les données prises lors du test pré programme et celles prises lors du test post programme, est significative. Par contre, en ce qui a trait à la force de préhension, l'augmentation n'est pas significative, et ceci démontre la spécificité de l'entraînement qui a réussi à améliorer la capacité des membres inférieurs, mais pas des membres supérieurs. Pour ce qui est des mesures anthropométriques (poids, IMC, tour de taille), la différence entre les données recueillies pré et post programme sont elles aussi, non significative. Voyons maintenant plus en détail chacun de ces tests.

6.1.1 Test de marche de 6 minutes

Les quinze séances d'ÉSM ont démontré une différence significative ($p < 0,019$) au niveau du test de marche de 6 minutes. Comme indiqué au tableau 4, la distance moyenne parcourue a augmenté de 12,2 mètres en réponse à l'entraînement par ÉSM, ce qui représente une amélioration de 5,3 %. Il est possible de distinguer une augmentation quant aux nombres de mètres parcourus chez sept des neuf sujets, allant de 5 à 25 mètres. Un sujet a parcouru la même distance qu'à son test initial (sujet 5) et seulement un sujet a diminué sa distance, et ce, de 5 mètres (sujet 8). Il est important de mentionner que le sujet 8 a subi une opération 3 jours avant les tests

post programme. Donc, le sujet a eu plus de difficulté à effectuer ce test puisqu'il est resté au lit pendant les 2 jours suivants l'opération. Cela pourrait expliquer ce résultat de diminution au niveau du nombre de mètres parcourus. Il est toutefois intéressant de croire, toujours pour le sujet 8, que la diminution de la distance parcourue au test de marche de 6 minutes aurait pu être plus grande sans le programme d'ÉSM.

Les résultats obtenus lors de cette étude, en ce qui concerne le test de marche de 6 minutes, sont semblables à ceux obtenus lors de l'étude de Vivodtzev et al (2006). Dans leur étude, des sujets présentant une MPOC considérée comme sévère (VEMS $27 \pm 3\%$ de la valeur prédite), semblables à notre cohorte ($28,44 \pm 15,65\%$ de la valeur prédite), ont parcouru une distance significativement supérieure après l'ÉSM. Toutefois, leurs résultats ont été obtenus à l'aide de séances d'exercices (entraînement en résistance et aérobie) combinés à l'ÉSM et qui se sont tenues au nombre de 4 fois par semaine, pendant 4 semaines (16 séances d'entraînement), et ce, à l'aide de paramètres d'ÉSM différents de ceux utilisés dans le cadre de notre étude. Dans le cadre de notre étude, avec uniquement l'ÉSM et seulement 15 séances d'entraînement sur trois semaines (comparativement à 4 semaines), on constate une amélioration significative au test de marche de 6 minutes de façon comparable à l'étude de Vivodtzev (2006), en étant toutefois obtenu plus rapidement. De plus, Bourjeily-Habr (2002) a obtenu des résultats semblables aux nôtres chez des patients présentant une MPOC sévère, mais un peu moins sévère que notre cohorte (VEMS $35.6 \pm 4.3\%$ de la valeur prédite) avec un programme d'ÉSM ayant lieu 3 fois par semaine, et ce, pendant 6 semaines (3 séances de plus que notre programme d'ÉSM). Les paramètres d'ÉSM sont aussi différents de ceux utilisés lors de notre étude, mais les résultats quant à l'augmentation de la distance parcourue au test de marche de 6 minutes sont aussi comparables à la nôtre.

Comme le mentionnent Kafi et Deboeck (2005), le test de marche de 6 minutes évalue la réponse à l'exercice ou à l'effort de plusieurs systèmes, comme le système cardio-vasculaire, respiratoire ainsi que musculaire et reflète très bien les activités de la vie quotidienne. Il est intéressant d'apercevoir que notre programme d'ÉSM de 15 séances permet d'améliorer le nombre de mètres parcouru à ce test, et ce, de façon significative. Les études utilisant l'ÉSM chez des sujets ayant une MPOC et démontrant une amélioration au test de marche de 6 minutes utilisent généralement l'ÉSM combiné avec des séances d'exercices. De plus, les autres études comportent toutes plus de séances d'ÉSM que nous en avons faites dans notre étude. Donc, si l'on compare notre étude avec les autres études similaires, il est possible d'affirmer que nous avons obtenu une amélioration significative en utilisant uniquement l'ÉSM, et ce, en moins de séances et sans ajout d'exercices combinés. Il est important de bien comprendre l'enjeu se rattachant à ces deux derniers points. La présente étude se veut originale et cela réside dans le fait que les sujets choisis sont sévèrement atteints de MPOC (se référer au tableau 1 – fonction respiratoire) et ne peuvent pas d'emblé participer à un programme de réadaptation traditionnelle. Nous savons les effets bénéfiques qu'apporte un tel programme de réadaptation conventionnelle, mais la volonté des patients à participer à ce type de programme est souvent compromise par leur manque de capacité physique et la résultante de leur incapacité ventilatoire. L'ÉSM est donc un moyen d'y parvenir puisque nous avons démontré par cette étude qu'il était possible d'avoir des résultats significatifs au niveau de la capacité fonctionnelle, et ce, avec seulement 15 séances d'ÉSM. Ce type de clientèle a peine à accomplir leur activité de la vie quotidienne donc, de leur demander de faire des exercices en plus de se soumettre à des séances d'ÉSM nous paraissait une tâche un peu lourde à leur égard. Nous avons décidé de nous concentrer uniquement sur l'ÉSM en premier lieu afin d'éviter les symptômes d'hypoxie et de dyspnée qui apparaissent habituellement rapidement lors d'effort physique déployé dans les programmes de réadaptation traditionnelle. À noter que leur capacité fonctionnelle suite à ce traitement ayant augmenté, la chance de pouvoir participer à un programme de

réadaptation traditionnelle s'en trouve améliorée. Toutefois, si ces derniers ont de la difficulté à effectuer le programme classique de réadaptation pulmonaire, et ce, même après avoir pris part à des séances d'ÉSM, ils auront tout de même plus de facilité à accomplir leurs tâches quotidiennes et leur qualité de vie en sera améliorée. De plus, se limiter à quinze séances d'ÉSM pour obtenir des résultats significatifs représente une diminution de coût lors de la prise en charge du patient puisque ce traitement sera moins long et les résultats d'autant plus concluants.

6.1.2 Test de 1RM au *leg press*

Les quinze séances d'ÉSM ont démontré une différence significative ($p < 0,004$) au niveau du test de 1 RM au *leg press*. Comme indiqué au tableau 4, la charge poussée par les sujets a augmenté de 16,7 livres suite à l'entraînement par ÉSM, ce qui représente une augmentation de 9 %. Si l'on s'attarde au tableau 4, il est possible de distinguer une augmentation de la charge soulevée chez sept sujets allant de 10 à 20 livres. Seulement 2 sujets (sujet 1 et sujet 5) n'ont pas présenté d'augmentation quant à la charge poussée. Par contre, ces deux sujets ont déployé la même force entre le test pré et le test post programme, donc ils se sont tout de même maintenus. L'amélioration significative de la charge poussée lors du test de 1 RM au *leg press* chez la majorité des sujets permet d'affirmer que l'ÉSM peut entraîner une augmentation de la force des quadriceps chez les sujets. Il est étonnant de constater que le sujet 8 a amélioré sa force au *leg press* malgré une opération subie 3 jours auparavant.

Les résultats de notre étude sont comparables à ceux obtenus dans l'étude de Bourjeily-Habr (2002). Ces derniers ont aussi obtenu une amélioration de la force des quadriceps post programme d'ÉSM (programme d'ÉSM ayant eu lieu 3 fois par semaine, et ce, pendant 6 semaines soit 3 séances de plus que notre programme d'ÉSM). À l'aide d'un programme d'ÉSM comportant moins de séances que celui de

Bourjeily-Habr (2002), nous avons réussi à obtenir des résultats similaires. De plus, Quittan (1999) a pu aussi démontrer des changements notables au niveau de la force musculaire des membres inférieurs chez des patients atteints d'insuffisance cardiaque qui ont, eux aussi, suivi un programme d'ÉSM. Ces derniers ont réalisé 8 semaines d'ÉSM et ce, 3 fois par semaine et ils ont augmenté leur force des quadriceps de 13 %. Si l'on compare les résultats obtenus lors de notre étude avec des résultats obtenus lors d'ÉSM chez des athlètes, il est possible d'apercevoir que nous obtenons des résultats similaires quant à l'augmentation de la force des quadriceps. À noter que Cometti (1990, 1991, 1994) a aussi remarqué une augmentation de la force musculaire chez des athlètes de haut niveau (coureurs de vitesse, lutteurs, etc.) à la suite des séances d'ÉSM. Bien que les progrès en force puissent dépendre en fonction du stimulateur utilisé, de la spécialité des athlètes et de leur niveau de pratique, il est intéressant de constater l'augmentation de la force en réponse à un programme d'ÉSM chez une diversité de population et dans notre cas chez des patients ayant une MPOC considérée comme sévère.

Comme il est démontré par Troosters et al (1996) ainsi que par Simpson et al (1992), un changement au niveau de la force du quadriceps améliore la capacité à l'effort d'un patient présentant une MPOC. Cela démontre par le fait même une plus grande tolérance à l'effort et donc une augmentation en ce qui a trait à la qualité de vie. Alors, notre étude permet de démontrer que par le protocole d'ÉSM, il a été possible d'augmenter la force musculaire des quadriceps et donc, par le fait même, d'obtenir une plus grande tolérance à l'effort et conséquemment une possible amélioration de la qualité de vie.

Donc, à l'aide des résultats obtenus à la suite de notre étude, nous pouvons démontrer que l'ÉSM est un moyen alternatif efficace chez les patients présentant une faiblesse musculaire menant à une intolérance à l'effort ou à l'exercice dû à leur pathologie pulmonaire sous-jacente. Les effets positifs, comme l'augmentation de la force des

quadriceps, par ÉSM peuvent aussi se comparer généralement à ceux obtenus en réadaptation traditionnelle à l'Hôtel-Dieu de Montréal (résultats non publiés). L'apparition de dyspnée dès les premières minutes d'entraînements (ou même de dyspnée de repos), la perte de masse musculaire importante résultant en une diminution de force musculaire ainsi que l'impossibilité de tenir un effort de quelques minutes représente des obstacles à la réadaptation traditionnelle ainsi que de grandes sources d'abandon chez les patients atteints de MPOC sévère. À l'aide de l'ÉSM, il est possible d'obtenir les gains recherchés lors de la réadaptation traditionnelle, comme dans le cas qui nous intéresse ici, l'augmentation de la force des quadriceps, et ce, sans les nombreux obstacles que nous confère cette dernière.

6.1.3 Force de préhension

Les quinze séances d'ÉSM n'ont pas démontré une différence significative ($p < 0,150$) quant au test de force de préhension. Comme indiqué au tableau 4, la moyenne de la force de préhension des sujets a augmenté de 8,7 livres en réponse à l'entraînement par ÉSM, ce qui représente une augmentation de 7 %. Donc, si l'on compare les moyennes pré et post programme, il est possible de voir une tendance voulant que la force de préhension soit augmentée, toutefois la différence n'est pas significative. Si l'on s'attarde au tableau 4, il est possible de distinguer qu'il y a 3 sujets qui ont diminué leur force de préhension entre le test pré et post programme de 5 et 6 livres, un sujet s'est maintenu et pour les 6 autres sujets, il est possible de voir une amélioration de la force de préhension se situant entre 4 et 45 livres.

Il est difficile de comparer ces résultats pour ce qui est de la force de préhension avec d'autres études utilisant l'ÉSM chez les MPOC puisque ce test n'a pas été effectué et cet aspect n'a pas été pris en considération. Par contre, les résultats que nous avons obtenus à l'aide de cette étude démontrent que la force de préhension ne s'est pas améliorée de façon significative lorsque nous attribuons une stimulation musculaire

uniquement au niveau des membres inférieurs. Selon la Revue canadienne de physiologie appliquée (2001), la force de préhension est un bon indicateur de la force globale. Dans le cas qui nous intéresse, comme nous avons pratiqué l'ÉSM que sur membres inférieurs, il est approprié de constater que la force de préhension ne s'est pas améliorée, même si cette dernière est un bon indicateur de la force globale, nous n'avons en aucun cas, renforcé les membres supérieurs. De plus, toujours selon la Revue canadienne de physiologie appliquée (2001), la mesure de la force de préhension est surtout utilisée dans le but de faire du repérage hâtif chez la population afin de cibler l'incapacité physique associée à une faible force musculaire. Par contre, dans cette étude, l'ÉSM des membres inférieurs n'a pas contribué, de façon majeure ou significative, à améliorer la force globale. Donc, cela démontre la spécificité de l'entraînement, qui a réussi à améliorer la capacité des membres inférieurs et non celle des membres supérieurs.

6.1.4 Mesures anthropométriques (tour de taille, poids, IMC)

Les quinze séances d'ÉSM n'ont pas démontré une différence significative quant aux mesures anthropométriques. À noter que notre objectif n'était d'ailleurs pas d'observer une différence à ce niveau, mais il est tout de même intéressant de s'y attarder.

En ce qui a trait au tour de taille, si l'on s'attarde au tableau 4, il est possible d'apercevoir une diminution du tour de taille de 0,11 cm si l'on compare les données pré et post programme. Cette diminution n'est pas significative ($p < 0,853$) donc aucunement concluante. Au tableau 4, il est possible de remarquer qu'il y a 4 sujets qui diminuent la circonférence de leur tour de taille (de 0,5 à 3 cm), qu'il y a 2 sujets qui la maintiennent et que 3 sujets augmentent cette circonférence (de 1 à 3 cm). Donc, il est possible d'affirmer qu'il n'y a pas de tendance ou de constance par

rapport au tour taille mesurée avant le programme d'ÉSM et après ce dernier. Donc, aucun changement significatif pour cette donnée.

En ce qui concerne le poids, si l'on s'attarde au tableau 4, il est possible d'apercevoir une diminution du poids de 0,72 kg entre le test pré et post programme. Cette diminution n'est pas significative ($p < 0,107$) donc nullement convaincante ou déterminante. On peut s'apercevoir au tableau 4 que sur 9 sujets, 6 ont perdu du poids post programme d'ÉSM (de 1 à 3,28 kg) et que les 3 autres sujets ont un poids supérieur (de 0,19 à 0,54 kg). Alors, il est possible de constater qu'il n'y a pas de tendance par rapport au poids mesuré pré et post programme d'ÉSM. Donc, il est possible d'affirmer qu'un programme d'ÉSM de 15 séances n'a pas d'effets sur le poids des participants.

Enfin, pour ce qui est de l'indice de masse corporelle (IMC), si l'on se réfère au tableau 4, il est possible de remarquer une diminution entre le test pré et post programme de $0,30 \text{ kg/m}^2$. Cette diminution ne représente pas un résultat significatif ($p < 0,230$) en ce qui a trait à la mesure de l'IMC. Toujours au tableau 4, il est possible de constater une diminution de l'IMC chez 7 sujets (de 0,1 à $1,3 \text{ kg/m}^2$) et une augmentation cette dernière chez 3 sujets (de 0,1 à $0,6 \text{ kg/m}^2$). Alors, il est possible de distinguer qu'il n'y pas de tendance ou de constance par rapport à l'IMC mesuré pré et post programme. Cela permet de constater qu'un programme d'ÉSM, tel que présenté dans cette étude, n'a aucun effet sur l'IMC des sujets ou des participants. Les résultats obtenus dans notre étude peuvent se comparer à ceux obtenus par Vivodtzev et al (2006) puisque ces derniers ont constaté une petite amélioration significative quant à cette donnée ($p < 0,002$). Même si notre étude ne démontre pas de changement significatif quant à l'IMC comparativement à celle menée par Vivodtzev et al (2006), il faut prendre en considération que ces derniers ont effectuée un programme d'ÉSM jumelé à des séances d'exercices, voilà peut-être la cause des résultats significatifs quant aux résultats qu'ils obtenus par rapport à

l'IMC. Dans plusieurs autres études concernant l'ÉSM chez des sujets atteints de MPOC (Zanotti et al, 2003; Bourjeily-Habr et al, 2002; Neder et al, 2002) l'IMC est mesuré en début d'étude afin de posséder des données descriptives de l'échantillon, mais aucune mesure post est mentionné. Dans le cas qui nous concerne, nous voulions savoir si un programme d'ÉSM de 15 semaines (seulement d'ÉSM) allait avoir une incidence sur l'IMC, ce qui ne fut pas le cas.

6.2 Analyse de la fréquence cardiaque lors de l'électrostimulation (ÉSM)

La fréquence cardiaque (FC) des sujets a été prise au repos (avant de débiter l'ÉSM), à toutes les minutes ainsi qu'à la fin de la séance, lors de l'ÉSM des quadriceps ainsi que des mollets, et ce, pour les quinze séances. La volonté de compiler ces données était de déceler des changements de la FC au cours des quinze séances d'ÉSM ou même une variation au cours d'une même séance, comme on le constate lors d'efforts physiques. À noter que l'objectif de cette étude n'était pas d'observer une différence à ce niveau, mais il est tout de même intéressant de s'y attarder. Si l'on s'attarde au tableau 5, on retrouve la moyenne des FC des neuf sujets mesurée à la première, la septième et la quinzième séance, et ce, par tranche de cinq minutes lors de l'ÉSM des quadriceps. Il est possible de constater qu'il n'y a pas de différence significative quant à la variation de la FC entre les séances. La moyenne des sujets est sensiblement la même pour ces trois séances. Un sujet (sujet 2) se retrouve avec une diminution de sa FC entre la première et la dernière séance et il est le seul pour qui l'on pourrait affirmer que le programme d'ÉSM aurait pu avoir une incidence sur sa FC. Pour ce qui est des autres sujets, on ne remarque aucune variation importante. La FC se maintient ou diminue légèrement au cours du programme. La figure 1 démontre bien ce phénomène et il est possible de constater qu'il n'y a aucun changement important de la FC au cours du programme. À l'aide de la figure 1, il est aussi possible de percevoir une petite diminution entre la première et la dernière séance, mais cette diminution n'est pas significative en soi. Si l'on s'attarde au

tableau 6, on retrouve aussi la moyenne des FC des neuf sujets mesurée de la même façon que lors de la stimulation précédente, mais cette fois-ci pour les mollets. Il est aussi possible de distinguer, à l'aide de la figure 2, aucun changement notable en ce qui concerne une diminution ou une augmentation de la FC entre chacune des séances. Par contre, si l'on compare les données présentées dans le tableau 5 (FC lors de l'ÉSM des quadriceps) avec celles présentées dans le tableau 6 (FC lors de l'ÉSM des mollets), il est possible de constater qu'il y a généralement une diminution de la FC entre la stimulation de ces deux groupes musculaires. Les FC lors de l'ÉSM des quadriceps sont généralement plus élevées que lors de la stimulation des mollets. Comme par exemple, chez le sujet 1, lors de l'ÉSM du quadriceps, à la première séance, on retrouve une FC au repos de 98 bpm pour les quadriceps comparativement à 80 bpm pour les mollets. Pour la cinquième minute, on retrouve 102 pour les quadriceps et 90 pour les mollets et ainsi de suite. Chez certains sujets, cette diminution est moins marquée, mais il est toutefois possible de remarquer une certaine tendance si l'on compare les sujets à eux-mêmes. Cette diminution peut s'expliquer par le fait que le sujet demeure assis pendant toute la période de stimulation musculaire et comme la stimulation des mollets suit celle des quadriceps, le sujet est déjà immobilisé, et ce, depuis un peu plus de vingt minutes.

Si l'on compare les données recueillies dans notre étude avec celles obtenues par Zanotti et al (2003), il est possible de constater que nous arrivons aux mêmes conclusions puisque ces derniers ont aussi observé que l'ÉSM n'affectait en rien la FC. Ils ont remarqué, comme lors de notre étude, que les FC avaient tendance à se maintenir et qu'il n'y avait pas de fluctuation pour ce paramètre mesuré. À l'effort, la FC a tendance à augmenter, puisque la demande cardiovasculaire est beaucoup plus grande qu'au repos donc la FC s'élève. Par contre, dans le cas qui nous concerne, il est intéressant de s'apercevoir que la FC n'effectue aucune augmentation ou diminution marquée lorsque l'on utilise l'ÉSM donc aucun effort supplémentaire au

système cardiovasculaire n'est demandé ce qui est rassurant par rapport à cette population qui peut être aussi atteinte de complications cardiaques sous-jacentes.

6.3 Analyse de la tension artérielle lors de l'électrostimulation (ÉSM)

Un autre signe vital mesuré lors de l'ÉSM, la tension artérielle (TA) des sujets, a été pris au repos (avant de débiter l'ÉSM), au milieu de la stimulation (à la dixième minute) ainsi qu'à la fin de la séance et ce, durant l'ÉSM des quadriceps ainsi que des mollets, et ce, pour les quinze séances. La volonté de compiler ces données réside dans le fait que la prise de la TA est absente dans les études où l'on utilise l'ÉSM pour des patients atteints de MPOC. Il était intéressant et pertinent de voir si l'ÉSM avait une influence sur la TA des patients atteints de MPOC participant à cette étude, même si cela ne réside pas dans l'objectif principal de cette dernière. Si l'on se réfère au tableau 7 ainsi qu'au tableau 8, on constate qu'il n'y a aucune variation considérable de la tension artérielle. Aucune variation de la TA au cours des quinze séances d'ÉSM ou même aucune variation importante au cours d'une même séance, comme on le constate lors d'efforts physiques. Cependant, il est possible de remarquer que la TA systolique a tendance à diminuer à la dixième minute, mais non de façon significative. À la dixième minute, aussi bien aux quadriceps qu'aux mollets, on peut remarquer que la moyenne de la TA systolique a tendance à diminuer et il est possible de bien voir cette tendance à la figure 3 ainsi qu'à la figure 4. De plus, on peut remarquer lorsqu'on compare les moyennes du tableau 7 ainsi que celles du tableau 8, que certaines TA prises lors de l'ÉSM des mollets sont légèrement moins élevées que lors de l'ÉSM des quadriceps. Comme mentionnée auparavant en ce qui concerne la FC, cette baisse peut coïncider avec le fait que le sujet était au repos pendant un peu plus de vingt minutes et qu'il n'a effectué aucun déplacement avant que l'on effectue l'ÉSM des mollets. Avec ces résultats, il est possible d'affirmer que l'ÉSM n'a aucune incidence significative sur la TA des sujets atteints de MPOC.

Cela représente un avantage considérable pour l'ÉSM puisque les signes vitaux (FC et TA) des sujets qui sont électrostimulés demeurent stables. Donc, si l'on s'attarde aux contre indications de certaines pathologies en lien avec l'exercice, comme par exemple l'anévrisme à l'aorte abdominale, nous pouvons indiquer en toute assurance qu'un programme d'ÉSM n'influence pas les signes vitaux (TA et FC) comme le ferait l'exercice de type aérobie ou en résistance (risque de la manœuvre de Vasalva) et donc, n'augmente pas le risque associé à des contractions musculaires chez les patients présentant une MPOC sévère comme ceux de notre étude.

6.4 Pertinence de l'ÉSM à domicile

Il est certain que l'ÉSM à domicile présente plusieurs avantages. Dans le cadre de cette étude, nous avons décidé tout d'abord de faire déplacer les sujets sur place (à l'Hôtel-Dieu de Montréal - CHUM) pour toute la durée du programme, c'est-à-dire pour les quinze séances d'ÉSM en plus des tests pré et post programme. Par contre, comme les sujets choisis sont des patients présentant une MPOC sévère, il était difficile pour ces derniers de se déplacer aussi souvent dans une semaine comme le protocole le prévoyait. Comme nous voulions que cette étude ait un lien des plus étroit avec la réalité, nous avons décidé de nous acclimater à leur réalité et de comprendre en quoi consistaient toutes ses implications si nous voulions donner suite à cette étude et appliquer ce type de programme. Nous avons donc décidé de nous déplacer à leur domicile. De plus, les sujets choisis sont ceux étant référés à un programme de réadaptation, mais jugé trop sévère pour pouvoir accomplir ce type de programme. Alors, comment peuvent-ils bénéficier de ce type de traitement s'ils ont peine à sortir de leur cercle vicieux? Comme mentionnés précédemment, les patients présentant une MPOC ont de la difficulté à accomplir les tâches ou même leurs activités de la vie quotidienne dues aux inconvénients amenés par la maladie. Comment penser, dans la réalité, que ces derniers pourront se rendre à un lieu, qui pour certains éloigné de leur domicile, quand ils sont ancrés dans le cercle vicieux de

la MPOC depuis quelque temps déjà. Un tel programme à domicile avait déjà été pensée par Neder et al (2002), mais aucun intervenant n'est allé à domicile afin d'accompagner le patient. Dans l'étude de Neder et al (2002), les patients recevaient des instructions en milieu hospitalier qu'ils devaient ensuite appliquer à la maison. Il est certain qu'en ce qui concerne la motivation du patient on n'obtient pas les mêmes résultats. En ayant un intervenant qui se déplace pour toutes les séances du programme à domicile, l'assiduité au programme est à son maximum. On ne peut pas omettre une séance puisqu'il y a toujours un intervenant pour assurer le programme. De plus, le rôle de l'intervenant n'est pas à négliger : en plus d'agir comme motivateur à la tenue de la séance, il veille à ce que le protocole soit bien appliqué et il peut changer les paramètres ou a ajusté le programme selon la rétroaction donnée par le patient. Il est plus facile d'augmenter l'intensité et d'obtenir une bonne progression du programme lorsque nous sommes sur les lieux puisque nous pouvons réagir plus rapidement, constater s'il y a des lacunes et voir à que tout se passe bien. Nous pouvons constater les améliorations en temps réel et alors s'ajuster en conséquence. L'intervenant peut suivre l'évolution du patient et cela lui permet de constater les changements au fur et à mesure qu'ils se produisent. Donc, il est très pertinent qu'un intervenant se déplace à domicile, chez le patient, afin d'obtenir des résultats efficaces pour ce type de programme. Cette étude se voulait le plus réaliste possible afin de trouver une alternative à un programme de réadaptation traditionnelle telle qu'il est proposé au CHUM et le choix de se déplacer à domicile colle mieux à la réalité dans laquelle doivent vivre ces patients. Si nous voulons implanter ce type de programme par la suite, il est important que le tout soit lucide et réaliste et c'est ce que le déplacement à domicile nous a permis de faire.

Il ne faut pas non plus négliger l'aspect social de ce type d'intervention. Certains patients ont peine à sortir de leur domicile et ont de la difficulté à affronter la vie quotidienne ou même le monde extérieur dû à leur incapacité physique (cercle vicieux). La perte de confiance en eux-mêmes et en leur capacité est très présente. La

peur en est une résultante. Leurs sorties sont moins fréquentes ou carrément absentes. Nous avons remarqué que par le type d'intervention que nous avons faite dans le cadre de cette étude, soit la visite cinq fois par semaine à domicile (pendant trois semaines), par la kinésiologue, certains patients ont recommencé à sortir de leur domicile ou à recevoir des gens à leur domicile. L'isolement est une partie importante du cercle vicieux et par la visite à domicile, nous avons pu briser quelque peu cette variante. Cela les fait sortir quelque peu de l'isolement social. Aussi, l'avantage d'avoir un intervenant sur place, cela peut faciliter les soins pour le patient. L'intervenant peut agir d'intermédiaire entre le patient et son centre de santé (infirmière, pneumologue, etc.) puisque ce dernier est en contact direct avec le patient. Cela peut faciliter bien des choses. Bref, la proximité avec le patient, la confiance du patient envers l'intervenant, le bris de l'isolement, la prise en charge du patient, une meilleure performance du programme et plus encore sont perceptibles avec ce genre de programme à domicile et nous avons pu en constater les bienfaits durant cette étude.

6.5 Limites de l'étude

6.5.1 Le nombre de sujets

Le nombre de sujets participant à cette étude a été de 9 sujets. Il serait pertinent d'évaluer ce protocole sur un échantillon plus grand. Avec 9 sujets, il est quand même possible d'affirmer que nous avons obtenu des modifications physiologiques significatives et que l'on remarque certaines tendances, mais si un nombre plus grand de sujets avait participé à l'étude, possiblement que certaines autres variables dépendantes (ex : force de préhension) auraient atteint le niveau de signification et d'autres variables dépendantes aurait été plus élevé. Dans le cas de ce présent projet de maîtrise, 12 sujets avaient été recrutés au départ, mais 3 d'entre eux ont dû abandonner avant même de débiter le programme, et ce, pour différentes raisons. Il faut être conscient de tout ce que la MPOC apporte comme inconvénients chez les

sujets et que même s'ils désirent participer à l'étude, certaines contraintes reliées à la maladie sont susceptibles de se produire.

6.5.2 Standardisation des protocoles d'entraînement par ÉSM

Comme les études présentant l'ÉSM comme moyen alternatif d'entraînement pour les patients atteints de MPOC sont peu nombreuses et relativement récentes, il est difficile de trouver un protocole d'ÉSM optimale. Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé un protocole différent de ceux présentés dans les autres études, mais nous avons utilisé la méta-analyse de Roig et Reid (2008) afin de voir les protocoles utilisés ainsi que les résultantes de ces protocoles. Le protocole utilisé dans cette étude a été adapté à partir de cette méta-analyse. Donc, il est difficile de savoir si le protocole que nous avons choisi est celui présentant les meilleures conditions d'ÉSM, mais néanmoins, le protocole d'ÉSM retenu a permis de réaliser des améliorations significatives de la capacité fonctionnelle (marche de 6 minutes) et de la force des membres inférieurs au *leg press*.

VII. RECOMMANDATIONS

Suite à la réalisation de ce projet de maîtrise, quelques recommandations peuvent être présentées pour la poursuite d'autres études ou d'autres projets dans le but de faire avancer l'ÉSM chez les patients présentant une MPOC sévère.

7.1 Effets de l'ÉSM à long terme

Dans le cadre de cette étude, nous avons évalué à court terme, soit moins d'une semaine après la fin du programme d'ÉSM, les impacts de l'ÉSM sur le potentiel d'augmentation de la force musculaire ainsi que ses actions sur l'accroissement de la capacité fonctionnelle. Par contre, il serait intéressant de discerner ou de constater les effets de l'ÉSM à long terme et de voir les impacts de ce type de technologie sur les capacités musculaires à long terme. Les études sont inexistantes à ce sujet. Il est plutôt difficile de connaître les impacts d'un tel programme à long terme et nous ne possédons pas de réponses sur les avantages ou même sur les conséquences que cela pourrait apporter au travers du temps. Évaluer le nombre de temps et à quel niveau on maintient les avantages (augmentation de la force musculaire, accroissement de la capacité fonctionnelle, etc.) acquis et procuré par l'ÉSM serait en soi, un sujet plus qu'intéressant à considérer.

7.2 Augmenter le nombre de sujets

Il aurait été pertinent d'évaluer ce protocole sur un plus grand nombre de sujets. Neuf sujets ont participé à cette étude et les résultats qui en découlent sont significatifs. Par contre, s'il y a un nombre plus élevé de sujets participant à ce type d'étude, les résultats significatifs possèderaient une plus grande valeur. Alors, il serait intéressant de considérer dès le départ un échantillon plus grand en prévoyant l'abandon de

certaines études. De plus, généralement, les autres études sur le sujet (ÉSM et MPOC) comportent, elles aussi, un nombre restreint de sujets. Donc, aucune étude à ce jour n'a été produite avec un nombre important de sujets.

7.3 Paramètres supplémentaires à mesurer

Il serait intéressant de mesurer les effets du programme d'ÉSM sur la saturation en oxygène. Ce paramètre n'a pu être mesuré durant cette étude puisqu'il était impossible d'emprunter ceux de l'hôpital et l'achat d'un nouveau saturomètre était impensable dû au prix élevé de l'appareil. Par contre, il serait intéressant de mesurer la saturation en oxygène lors de l'ÉSM afin de constater si ce paramètre est influencé par l'ÉSM et dans quelle mesure. Quelques études ont pris en considération cette variable, mais il aurait été pertinent de le mesurer afin de démontrer que tous les signes vitaux à l'ÉSM se maintiennent et ne présentent aucune variation majeure ou significative.

VIII. PERTINENCE SOCIALE

Comme mentionné auparavant, le programme de réadaptation pulmonaire déjà en place à l'Hôtel-Dieu de Montréal (CHUM) contribue à l'amélioration de la qualité de vie des patients souffrants de MPOC. L'exclusion de plusieurs patients, présentant une force musculaire quasi nulle, de ce programme représente un problème. Par l'ÉSM, la force musculaire des patients va s'améliorer et se résultera par la participation de ces derniers au programme traditionnel. L'ÉSM représente une technique de renforcement musculaire et d'augmentation de la capacité fonctionnelle, comme nous avons pu le constater à l'aide de cette étude, bénéfique pour les patients présentant une MPOC puisqu'ils sont soumis à une intolérance à l'effort et donc une incapacité à l'effort et à la réalisation d'exercices volontaires exécutés de façon conventionnel. L'ÉSM ne doit pas remplacer la réadaptation traditionnelle ou tout autre technique de réadaptation, elle doit être perçue comme une valeur ajoutée au programme déjà en place afin de maximiser le nombre de participants et par le fait même, augmenter la qualité de vie d'un nombre grandissant de personnes présentant cette maladie. L'isolement (la dépression et l'anxiété) des patients MPOC sera réduit par l'augmentation des capacités fonctionnelles puisque ces derniers seront en mesure, grâce à l'ÉSM, d'accomplir plus d'activités de la vie quotidienne qu'auparavant. L'augmentation de la qualité de vie est une résultante de tous ces facteurs. De plus, comme le programme s'est effectué à domicile, il est possible d'affirmer que ce choix est plus représentatif de la réalité avec laquelle doivent vivre ces patients. Il est plus facile pour nous de se déplacer à domicile que pour eux de se présenter pour un nombre volumineux de séances à l'hôpital. Il ne faut pas prendre à la légère l'aspect social de ce type d'intervention. Puisqu'ils sont pris dans le cercle vicieux de la MPOC avec toutes les conséquences que cela implique, ils ne reçoivent des gens que très rarement (pour certains, les visites sont carrément absentes) et ils ont peine à sortir de leur domicile, que ce soit pour accomplir leurs tâches de la vie

quotidienne ou même pour aller rendre visite à leurs êtres chers et nous avons constaté une amélioration à ce niveau dû à nos visites quotidiennes. L'isolement est parti prenant du cercle vicieux et par la visite à domicile, nous avons pu freiner et même briser un peu cette variante. L'isolement social en a été réduit. Cela est plus que bénéfique pour les personnes souffrant de MPOC qui sont directement impliquées ainsi que pour notre collectivité. Après avoir complété le programme d'ÉSM pour cette étude, quatre des neuf sujets ont pu rejoindre le groupe de réadaptation traditionnelle de l'Hôtel-Dieu de Montréal (CHUM) duquel ils ont été exclus au départ. Le programme d'ÉSM a eu une incidence plus que bénéfique pour leur part. En plus d'avoir augmenté leur force musculaire des membres inférieurs ainsi que leur capacité fonctionnelle, la qualité de vie de ces patients, anciennement sujets, est maintenant supérieure et ils peuvent maintenant profiter de tous les autres bienfaits qu'apporte la réadaptation pulmonaire traditionnelle. Voilà pourquoi cette étude est d'autant plus pertinente au niveau social ainsi que pour notre collectivité!

CONCLUSION

La qualité de vie des patients présentant une MPOC, sévère ou non, est compromise par l'incapacité de fournir un effort physique continu, peu importe l'intensité ou la durée. Lors d'efforts physiques, on retrouve une apparition rapide des symptômes d'essoufflement même si l'effort physique peut se résumer à une activité de la vie quotidienne. Comme ces derniers présentent plusieurs limitations fonctionnelles dues à une capacité ventilatoire réduite, leur taux d'activité physique est réduit au minimum ou est presque nul. Comme l'inactivité physique prolongée se résulte par une dégradation des muscles en périphérie ainsi que par une atrophie musculaire, les efforts physiques deviennent une lourde tâche, presque impossible à réaliser. Il est possible de mettre un terme à ce cercle vicieux par la réadaptation pulmonaire traditionnelle. Cette méthode présente toutefois un caractère restrictif étant donné les obstacles qui lui sont conférés et pour les patients atteints de MPOC sévère; ils abandonnent ou sont incapables d'exécuter le programme. Pour cette population, une nouvelle approche telle que l'ÉSM est à considérer afin d'augmenter le taux d'accessibilité à un programme de réadaptation traditionnelle ou tout simplement comme moyen alternatif d'entraînement. Grâce à cette étude, il est possible de démontrer que l'ÉSM permet d'augmenter la force des muscles en périphérie, donc pallier au problème d'atrophie musculaire ainsi que d'augmenter la capacité fonctionnelle de patients présentant une MPOC sévère (moyenne du VEMS prédit des sujets est de $28,44 \pm 15,65$ %). Grâce à cette technologie, le cercle vicieux dans lequel les patients aux prises avec une MPOC sont sérieusement impliqués peut être possiblement allégé. Comme l'ÉSM présente plusieurs avantages comme la réduction au minimum des symptômes d'hypoxie ou de dyspnée, la facilité à contrôler les paramètres d'entraînement, l'enrayement du risque de blessures causées par le matériel traditionnel (poids, poulies, etc.), la facilité à cibler un groupe musculaire ou même un muscle et finalement un appareil petit et peu encombrant, elle représente

une approche plus que considérable. De plus, avec le protocole utilisé dans cette présente étude, nous avons pu démontrer son efficacité à deux niveaux, soit par l'augmentation de la force musculaire ainsi que par l'augmentation de la capacité fonctionnelle. La pertinence de cette étude ne réside pas seulement dans l'augmentation de certaines qualités musculaires, mais aussi dans l'augmentation de la qualité de vie d'un nombre grandissant de personnes souffrant de cette maladie. Par un programme à domicile, il est possible d'affirmer que l'isolement social, qui est une partie majeure du cercle vicieux, a pu être quelque peu brisé par la visite quotidienne de l'intervenant. Bref, le bris de l'isolement, la proximité avec le patient ainsi qu'une amélioration des qualités musculaire font en sorte qu'un programme d'ÉSM à domicile représente une approche qu'il faut prendre en considération. Finalement, il est fort probable que l'augmentation de la force des membres inférieurs ait contribué à l'augmentation de la capacité fonctionnelle et ainsi à l'augmentation de la qualité de vie puisque ces derniers sont maintenant capables d'accomplir une plus grande distance et possiblement aptes à effectuer plus d'activités de la vie quotidienne, et ce, avec plus de facilité.

RÉFÉRENCES

- Alon G. 1989. Electro-orthopedics: A review of present electrophysiologic responses and clinical efficacy of transcutaneous stimulation. *Adv Sports Med Fitness*. 2: 295-324.
- Ambrosino A, Strambi S. 2004. New strategies to improve exercise tolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J*. 24: 313-322
- American Thoracic Society. 1995. Standards for the diagnosis and Care of patients with chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 152: S78-S119.
- American Thoracic Society/European Respiratory Society. 1999. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease *Am J Respir Crit Care Med*. 159: S1-S40.
- American Thoracic Society/European Respiratory Society. 2006. Statement on Pulmonary Rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 173: 1390-1413.
- Anto JM, Vermeire P, Vestbo J, Sunyer J. 2001. Epidemiology of chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J*. 17: 982-994.
- Astrand P.-O. et Rodahl K. 1973. Manuel de physiologie de l'exercice musculaire. Paris, édition Masson.
- Bennie S.D, Petrofsky J.S, Nisperos J, Tsurudome M, Laymon M. 2002. Toward the optimal waveform for electrical stimulation of human muscle. *Eur J Appl Physiol*. 88: 13-19.
- Bernard S, Whittom F, LeBlanc P, Jobin J, Belleau R, Berube C, et al. 1999. Aerobic and strength training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *AM J Respir Crit Care Med*. 159: 896-901.
- Bickford LS, Hodgkin JE, McInturff SL. 1995. National pulmonary rehabilitation survey. Update. *J Cardiopulm Rehabil*. 15: 406-11
- Blair E, Erlanger J. 1933. A comparison of the characteristics of axones through their individual electrical reponses. *J Appl Physiol*. 106: 524-564.

- Bourbeau J, Nault D, Borycki E. 2002. Comprehensive management of chronic obstructive pulmonary disease. Hamilton, ON: BC Decker Inc.
- Brooks D, Sottana R, Bell B, Hanna M, Laframboise L, Selvanayagarajah S, et al. 2007. Characterization of pulmonary rehabilitation programs in Canada in 2005. *Can respire J.* 14: 87-92
- Bourjeily-Habr G, Rochester CL, Palermo F, Snyder P, Mohsenin V. 2002. Randomised controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of the lower extremities in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* 57: 1045-1049.
- Butcher SJ, Jones RL. 2006. The impact of exercise training intensity on change in physiological function in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Sports Med.* 36(4): 307-25.
- Cabric M, Appell H.-J, Resic A. 1987. Effects of electrical stimulation of different frequencies on the myonuclei and fiber size in human muscle. *Int J of Sports Med.* 8: 323-326.
- Cabric M, Appell H.-J, Resic A. 1987. Stereological analysis of capillaries in electrostimulated human muscles. *Int J Sports Med.* 8: 327-330.
- Casaburi R. 1993. Exercise training in chronic obstructive lung disease. In: Casaburi R, Petty TL. *Principles and practice of pulmonary rehabilitation.* Philadelphia, PA: Saunders. 201-224.
- Casaburi R. 2000. Skeletal muscle function in COPD. *Chest.* 117: 267S-271S.
- Cheng N, Van Hoff H, Bock E. 1982. The effect of electric current on ATP generation, protein synthesis and membrane transport in rat skin. *Clin Orthop Rel Res.* 171: 264-272.
- Collins DF. 2007. Central contributions to contractions evoked by titanic neuromuscular electrical stimulation. *Exerc Sport Sci Rev.* 35: 102-109.
- Collins DF. 2002. Sustained contractions produced by plateau-like behaviour in human motoneurons. *J Physiol.* 538: 289-301.
- Collins DF, Burke D, Gandevia SC. 2001. Large involuntary forces consistent with plateau-like behaviour of human motoneurons. *J Neurosci.* 21: 4059-4065.

- Cometti, G. 1994. Intérêt de l'électrostimulation dans l'entraînement des sportifs de haut niveau. Unité de formation et de recherche en science et techniques des activités physiques et sportives, université de Bourgogne, Dijon Cedex.
- Cometti, G. 1994. Les méthodes de développement de la force. Centre d'expertise de la performance, université de Bourgogne, Dijon Cedex.
- Cometti, G. 2005. Les mécanismes de la force. Centre d'expertise de la performance, Dijon.
- Cometti, G. 2005. Les méthodes de développement de la force. Centre d'expertise de la performance, Dijon.
- Convertino VA, Sandler H. 1995. Exercise countermeasures for spaceflight. *Acta Astronaut.* 35: 253-270.
- Couillard A, Maltais F, Saey D, Debigaré R, Michaud A, Koechlin C, LeBlanc P, Préfaut C. 2003. Exercise-induced quadriceps oxidative stress and peripheral muscle dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *AM J Respir Crit Care Med.* 167: 1664-1669.
- Crameri, R.M. 2002. Effects of electrical stimulation-induced leg training on skeletal muscle adaptability in spinal cord injury. *Scandinavian journal of medicine & science in sport.* 12; 316-322.
- Dean JC, Yates LM, Collins DF. 2008. Turning off the central contribution to contractions evoked by neuromuscular electrical stimulation. *Muscle Nerve.* 38: 978-986.
- Debigaré R, Côté CH, Maltais F. 2001. Peripheral muscle wasting in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 164 :1712-1717.
- Decherchi P, Dousset E, marqueste T, Berthelin F, Hug F, Jammes Y, Grelot L. 2003. Électromyostimulation et récupération fonctionnelle d'un muscle dénervé. *Éd scientifiques et médicales Elsevier SAS.* Vol. 5, p. 253-263.
- Decramer M, Gosselink R, Trooster T, Verschueren M, Evers G. 1997. Muscle weakness is related to utilization of healthcare resources in COPD patients. *Eur Respir J.* 10: 417-423.

- Dehail P, Duclos C, Barat M. 2008. Électrostimulation et gain de force musculaire. *J Ann de Réad Med phys.* 51 : 441-451.
- Delitto A, Rose SJ et al. 1988. Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. *Phys Ther.* 68(5): 660-663.
- Dempsey JA, Hanson PG, Henderson KS. 1983. Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *J physio.* 355: 161-175.
- Dillard TA, Piantadosi S, Rajogopal KR. 1989. Determinants of maximum exercise capacity in patients with chronic airflow obstruction. *Chest.* 96: 267-271.
- Duchateau J, Hainaut K. 1988. Training effects of sub-maximal electrostimulation in a human muscle. *Med Sci Sports Exerc.* 20: 99-104.
- Engstrom C.P, Persson L.O, Larsson S, Sullivan M. Long-term effects of a pulmonary rehabilitation programme in outpatients with chronic obstructive pulmonary disease : a randomized controlled study. *Scand J. Rehabil. Med.* 31(4): 207-213.
- Eriksson E, Haggmark T. 1979. Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. *Am J Sports Med.* 7: 169.
- Ferguson GT, Cherniak RM. 1993. Management of chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med.* 328(14): 1017-1022.
- Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND et al. 1990. High-intensity strength training in nonagenarians. *JAMA.* 263: 3029-3034.
- Kafi Abdel F, Deboeck G. 2005. Le test de marche de six minutes en réhabilitation respiratoire. *Rev Mal Respir.* 22: 7S54-7S58.
- Gavin T.P, Derchak A, Stager JM. 1998. Ventilation's role in the decline in VO₂ max and SaO₂ in acute hypoxic exercise. *Medecine and Science Sports and Exercise.* 30: 195-198.
- Gledhill N. 2004. Guide du conseiller en condition physique et habitudes de vie (guide du conseiller CPHV). 3^e édition. Ottawa : Société Canadienne de physiologie de l'exercice.

- Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A. 2006. Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol.* 97: 165-173.
- Gosselink R, Troosters T, Decramer M. 1996. Peripheral muscle weakness contributes to exercise limitation in COPD. *Am J Respir Crit Care Med.* 153: 976-80.
- Grassino A, Bellemare F, Laporta D. 1984. Diaphragm fatigue and the strategy of breathing in COPD. *Chest.* 85: 51S-54S.
- Gregory CM, Bickel CS. 2005. Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys Ther.* 85: 358-364.
- Griffiths TL, Phillips CJ, Davies S, Burr ML, Campbell IA. 2001. Cost effectiveness of an outpatient multidisciplinary pulmonary rehabilitation programme. *Thorax.* 56: 779-84.
- Haas F, Salazar-Schicchi J, Axen K. 1993. Desensitization to dyspnea in chronic obstructive pulmonary disease. In: Casaburi R, Petty TL, eds. *Principles and practice of pulmonary rehabilitation.* Philadelphia, PA: Saunders. 241-251.
- Häkkinen K, Komi P.V, Alén M, Kauhanen H. 1987. EMG, muscle fiber and force production during a one year training period in elite weight lifters. *Eur J Appl Physiol* 56: 419-427.
- Hamilton Al, Killian KJ, Summers E et al. 1995. Muscle strength symptom intensity and exercise capacity in patients with cardiorespiratory disorders. *Am J Crit Care Med.* 152: 2021-2031.
- Han BS, Jang SH, Chang Y, Byun WM, Lim SK, Kang DS. 2003. Functional magnetic resonance image finding of cortical activation by neuromuscular electrical stimulation on wrist extensor muscles. *AM J Phys Med Rehabil.* 82: 17-20.
- Heilig A, Pette D. 1980. Changes induced in the enzyme activity pattern by electrical stimulation of fast twitch muscle. In: *Plasticity of muscle.* Berlin and New York: W. de Gruyter. pp. 409-420.
- Herrero JA, Izquiero M, Maffiuletti NA, Garcia-Lopez J. 2006. Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *Int. J. Sports Med.* 27; 533-539.
- Hoppeler H. 1986. Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle. *International J of Sports med.* 7: 187-204.

- Hortobagyi T, Lambert J, Scott K. 1998. Incomplete muscle activation after training with electrostimulation. *Can. J. Appl. Physiol.* 23(3); 261-270.
- Houston M.E. 1983. Effects of electrical stimulation on skeletal muscle of injured and healthy athletes. *Can J Appl Sport Sci* 8: 49-51.
- Howald H. 1975. The influence of electrostimulation on the ultrastructure of muscle. *Commandite Slendertone-BMR* (non publié).
- Jubeau M, Gondin J, Martin A, Sartorio A, Maffiuletti NA. 2007. Random motor unit activation by electrostimulation. *Int J Sports Med.* 28: 901-904.
- Killian KJ, Leblanc P, Martin DH, et al. 1992. Exercise capacity and ventilatory, circulatory and symptom limitation in patients with chronic airflow limitation. *AM Rev Respir Dis.* 146: 935-940.
- Kots YM., Chwilon BA. 1971. Entraînement de la force musculaire par la méthode d'électrostimulation, communiqué no.2: méthode d'entraînement (russe). *Teoriija i praktika fisischekoi kulturey.* 4:66-73.
- Lacasse Y, Brosseau S, Milne S, Martin S, Wong E, Guyatt GH, et al. 2004. Pulmonary rehabilitation for the chronic obstructive pulmonary disease (Cochrane review).
- Lacasse Y, Maltais F, Goldstein RS. 2004. Pulmonary rehabilitation : an integral part of the long-term management of COPD. *Swiss Med Wkly.* 134: 601-605.
- Lacasse Y, Wong E, Guyatt GH, King D, Cook DJ, Goldstein RS. 1996. Meta-analysis of respiratory rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet.* 348: 1115-1119.
- Loeser JD, Black RG, Christman A. 1975. Relief of pain by transcutaneous stimulation. *J Neurosurg.* 42: 308-314.
- Mador MJ, Kufel TJ, Pineda LA, Steinwald A, Aggarwal A, Upadhyay Am, et al. 2001. Effect of pulmonary rehabilitation on quadriceps fatigability during exercise. *Am J Respir Crit Care Med.* 163: 930-5.
- Maffiuletti NA, Zory R, Miotti D, Pellegrino MA, Jubeau M, Bottinelli R. 2006. Neuromuscular adaptations to electrostimulation resistance training. *Am J Phys Med Rehabil.* 85; 167-175.

- Maltais F, Bourbeau J, Shapiro S, Lacasse Y, Perrault H, Baltzan M, Hernandez P, et al. 2008. Effects of home-based pulmonary Rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med.* 149: 869-878.
- Maltais F, LeBlanc P, Jobin J, Casaburi R. 2000. Peripheral muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Chest Med.* 21: 665-77.
- Maltais F, Jobin J, Sulullivan MJ et al. 1998. Metabolic and hemodynamic responses of lower limb during exercise in patients with COPD. *J Appl Physiol.* 84(5): 1573-1580.
- Maltais F, LeBlanc P, Simard C, Jobin J, Berube C, Bruneau J, et al. 1996. Skeletal muscle adaptation to endurance training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 154: 442-447.
- Mannheimer J.S., Lampe G.N. 1984. *Clinical transcutaneous electrical nerve stimulation.* F.A. Davis compagny.
- Mateika JH, Duffin J. 1995. A review of the control of breathing during exercise. *Eur J app phys and occup phys.* 71 (1): 1-27.
- Matthews C, Morrissey MA et al. 1985. The effetc of electrical stimulation on the quadriceps during postoperative knee immobilization. *Am J Sports Med.* 13(1): 40-45.
- McArdle, W, Katch, F, Katch, V. 2001. *Physiologie de l'activité physique, 4e Édition, Édition Maloine/Edisem, France.* 711 p.
- McMiken DF, Todd-Smith M, Thomson C. 1983. Strengthening of human quadriceps muscles by cutaneous electrical stimulation. *Scand J Rehabil Med.* 15: 25-28.
- Moore SR, Shurman J. 1997. Combined neuromuscular electrical stimulation transcutaneous electrical stimulation for treatment of chronic back pain: a double-blind, repeated measures comparison. *Arch Phys Med rehabil.* 78: 55-60.
- Moritani T, deVries H.A. 1979. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American J of Physical Med.* 58: 115-130.

- Neder JA, Sword D, Ward SA, Mackay E, Cochrane LM, Clark CJ. 2002. Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 57: 333-337.
- Nichol K, Baken L, Nelson A. 1999. Relation between influenza vaccination and outpatient visits, hospitalizations and mortality among elderly patients with chronic lung disease. *Ann Intern Med.* 130: 397-403.
- O'Donnell DE. 1998. Exertional breathlessness in chronic respiratory disease. In: DA Mahler, ed. *Dyspnea*. New York, Dekker. 97-147.
- O'Donnell DE, Forkert L, Webb KA. 2001. Evaluation of bronchodilator responses in patients with "irreversible" emphysema. *Eur Respir J.* 18: 914-920.
- O'Donnell DE, Aaron J, Bourbeau, et al. 2007. Canadian Thoracic Society recommendations for management of chronic obstructive pulmonary disease – 2007 update. *Can Respir J.* 14(suppl B): 5B-32B.
- Ottenheijm CA, Heunks LM, Dekhuijzen PN. 2008. Diaphragm adaptations in patients with COPD. *Respiratory research.* 9-12.
- Pette D, Smith M.E, Staudte H.W., Vrobova G. 1973. Effect of long- term electrical stimulation of some contractile and metabolic characteristics of fast rabbit muscles. *Pflüger Arch.* 338: 257-272.
- Petty TL. 2006. The history of the COPD. *International J of COPD.* I (I): 3-14.
- Platonov V.N. 1988. *L'entraînement sportif: théorie et méthodologie*. Ed. EPS, Paris.
- Portmann M, Montpetit R. 1991. Effets de l'entraînement par électrostimulation isométrique et dynamique sur la force de contraction musculaire. *Science et Sport.* 6 :193-203.
- Poulain M, Durand F, Palomba B, Ceugniet F, Desplan J, Varray A, Préfaut C. 2003. 6-minute walk testing is more sensitive than maximal incremental cycle testing for detecting oxygen desaturation in patients with COPD. *Chest.* 123: 1401-1407.
- Powers SK, Dodd S, Lawler J, Landry G, Kirtley M, Mcknight T, Grinton S. 1988. Incidence of exercise induced hypoxemia in elite endurance athletes at sea level.

- Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall WC, LaMantia AS, McNamara JO, White LE. 2008. Neuroscience. 4e édition. Sinauer Associates: Sunderland, MA. 857 p.
- Quittan M, Simard A et al. 1999. Strength improvement of knee extensor muscles in patients with chronic heart failure by neuromuscular electrical stimulation. *Artif Organs*. 23: 432-435.
- Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist SA, Calverley P, et al. 2007. Global initiative for chronic obstructive lung disease. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med*. 176: 532-55.
- Reichmann H, Hoppeler H, Mathieu-Costello O, Van Bergen F, Pette D. 1985. Biochemical and ultrastructure changes of rabbits muscle-mitochondria after chronic electrical stimulation in rabbits. *Pflüger Arch*. 404: 1-9.
- Repperger DW, Ho CC, Aukuthota P, Phillips CA, Jonhson DC, Collins SR. 1997. Microprocessor based spatial tens (transcutaneous electric nerve stimulator) designed with waveform optimality for clinical evaluation in a pain study. *Comput Biol Med*. 27: 493-505.
- Requena Sanchez B, Padial Puche P, Gonzalez-Badillo JJ. 2005. Percutaneous electrical stimulation in strength training : an update. *J Strength Cond Res*. 19: 438-448.
- Ries AL, Carlin BW, Carrieri-Kohlman V et al. 1997. Pulmonary rehabilitation: evidence based guidelines. *Chest*. 112: 1363-1396.
- Roig M, Reid WD. 2009. Electrical stimulation and peripheral muscle function in COPD: A systematic review. *Respir Med*. [Epub ahead of print].
- Sala E, Roca J, Marrades R.M, Alonso J, Gonzalez De Suso J.M. et al. 1999. Effects of endurance training on skeletal muscle bioenergetics in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Crit Care Med*. 159(6): 1729-1737
- Sale D.G, MacDougall J.D, Upton A.R.M, McComas A.J. 1983. Effect of strength training upon motoneuron excitability in man. *Med Sci Sports Exerc*. 15: 57-62.
- Salmons S, Vrobova G. 1969. The influence of activity on some contractile characteristics of mammalian fast and slow muscles. *J Physiol*. 201: 535-549.

- Selkowitz D.M. 1985. Improvement in isometric strength of quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Physical Therapy*. 65: 186-195.
- Simpson K, Killian KJ, McCartney N et al. 1992. Randomised control trial of weightlifting exercise in patients with chronic airflow limitation. *Thorax*. 47: 70-75.
- Schmidtbleicher D. 1986. Muscular mechanics and neuromuscular control. *Swimming Sciences V, Human Kinetics Ed.* pp.131-148.
- Snyder-Mackler L, Ladin Z, Schepsis AA, Young JC. 1991. Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Effects of electrically elicited contraction of the *quadriceps femoris* and hamstring muscles on gait and on strength of the thigh muscles. *J Bone Joint Surg Am*. 73: 1025-36.
- Thépaut-Mathieux C, Pougheon M. 1992. Électrostimulation appliquée de manière prolongée. *Kinésithérapie Scientifique*. 308 :15-20.
- Thépaut-Mathieux C. 1998. Électrostimulation et recrutement différentiel des unités motrices. *Ann. Kinésithér.* 25 :115-118.
- Theurel J, Lepers R, Pardon L, Maffioletti NA. 2007. Differences in cardiorespiratory and neuromuscular responses between voluntary and stimulated contractions of the *quadriceps femoris* muscle. *Respir Physiol Neurobiol*. 157: 341-347.
- Tortora, G. 2001. *Principes d'anatomie et de physiologie*. ERPI, St-Laurent. 1221 pages.
- Troosters T, Casaburi R, Gosselink R, Decramer M. 2005. Pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Car Med*. 172:19-38.
- Vivodtzev I, Pepin JL, Vottero G, Mayer V, Porsin B, Lévy P, Wuyam B. 2006. Improvements in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest*. 129: 1540-1548.
- Vogiatzis I, Williamson A.F, Miles J, Taylor I.K. 1999. Physiological response to moderate exercise workloads in pulmonary rehabilitation program in patients with varying degrees of airflow obstruction. *Chest*, 116(5): 1200-1207.

- Whittom F, Jobin J, Simard P-M et al. 1998. Histochemical and morphological characteristics of the vastus lateralis muscle in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Med Sci Sports Exerc.* 30(10) : 1467-1474.
- Weineck J. 1997. Manuel d'entraînement. Ed. Vigot, 2ème édition, Paris.
- Wilmore JH, Costill DL. 2002. Physiologie de l'exercice. 2^e édition. Éd. DeBoeck Université. France.
- Wuyam B, Borel JC, Vivodtzev I. 2005. Place de la ventilation non invasive associée à l'exercice, de l'électrostimulation du quadriceps, et du travail excentrique dans la réhabilitation des patients atteints de BPOC. *Rev Mal Respir.* 22 : 7S76-7S78.
- Yohannes AM, Connolly MJ. 2004. Pulmonary rehabilitation programmes in the UK: a national representative survey. *Clin Rehabil.* 18: 444-449.
- Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fracchia C. 2003. Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: effect of electrical stimulation. *Chest.* 124: 292-296.
- Zatsiorsky W.M. 1966. Les qualités physiques du sportif. Traduction INS, M. Spivak, de l'éd originale russe. Moscou.