Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie

C.H.U de BORDEAUX

Le recrutement du diaphragme en réanimation :

Etude comparative de la ventilation dirigée et de la spirométrie incitative

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute

Sous la direction de Monsieur Pierre GRANDET

Morganne COURTIN

Promotion 2013-2016

SOMMAIRE

Résumé – Mots clés ……..1

1. INTRODUCTION 2

2. REVUE DE LITTERATURE 4

2.1. LE DIAPHRAGME 4

2.1.1. Rappels anatomiques 4

2.1.2. Rappels physiologiques 5

2.1.3. Explorations du diaphragme 6

2.1.4. Impact de la chirurgie sur le diaphragme 7

2.1.5. Impact de la réanimation sur le diaphragme 8

2.2. RECRUTEMENT DES MUSCLES INSPIRATOIRES 9

2.2.1. Technique manuelle : ventilation dirigée (VD) 10

2.2.1.1. Attendus de la ventilation dirigée 10

2.2.1.2. Modalités pratiques de réalisation 10

2.2.1.3. Résultats dans la littérature 11

2.2.2. Technique instrumentale : spirométrie incitative (SI) 12

2.2.2.1. Attendus de la spirométrie incitative 13

2.2.2.2. Modalités pratiques de réalisation 14

2.2.2.3. Résultats dans la littérature 14

2.2.2.4. Education au patient 16

2.2.2.5. Importance du biofeedback en rééducation 16

2.2.3. Entrainement des muscles inspiratoires (EMI) 17

3. ETUDE EXPERIMENTALE 19

3.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE 19

3.1.1. Raisonnement et problématique 19

3.1.2. Hypothèses 20
3.2. MATERIEL ET METHODES 20
3.2.1. Population 20
3.2.2. Critères d'inclusion 20
3.2.3. Critères d'exclusion 20
3.2.4. Appareil de mesure 20
3.2.4.1. Le système NAVA comme outil d'évaluation 20
3.2.4.2. Spécificités de la sonde NAVA dans notre étude 21
3.2.5. Montage 21
3.3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL 21
3.4. ETUDE STATISTIQUE 23
4. RESULTATS 24
4.1. PRESENTATION DES RESULTATS 24
4.2. COEFFICIENTS DE CORRELATION 25
5. DISCUSSION 26
5.1. ANALYSE DES RESULTATS 26
5.2. LIMITES ET BIAIS DE L'ETUDE 27
5.3. OUVERTURE 29
6. CONCLUSION 30
7. BIBLIOGRAPHIE 31

ANNEXES

- **ANNEXE I** : *Muscle diaphragme*
- **ANNEXE II** : *Ventilateur de réanimation Servo-i MAQUET®*
- **ANNEXE III** : *Score MRC (Medical Research Council)*
- **ANNEXE IV** : *Fiche protocolaire de recueil des données*

TABLE DES ABREVIATIONS

BFB	Biofeedback
BPCO	Broncho-pneumopathie chronique obstructive
DD	Décubitus dorsal
DDIV	Dysfonction diaphragmatique induite par la ventilation mécanique
Eadi	Activité électrique du diaphragme
EMI	Entrainement des muscles inspiratoires
NAVA	Neurally Adjusted Ventilatory Assist
Pemax	Pression expiratoire maximale
Pimax	Pression inspiratoire maximale
SI	Spirométrie incitative
VD	Ventilation dirigée
VM	Ventilation mécanique
VMA	Vitesse maximale aérobie
VNI	Ventilation non invasive
VS	Ventilation spontanée

Le recrutement du diaphragme en réanimation : Etude comparative de la ventilation dirigée et de la spirométrie incitative

Morganne COURTIN

Mots clés :

- Chirurgie thoracique / abdominale
- Dysfonction diaphragmatique
- Travail inspiratoire
- Entrainement muscles inspiratoires
- Ventilation dirigée
- Spirométrie incitative
- Sevrage ventilatoire

Résumé :

L'atteinte du diaphragme suite à une opération et un séjour en réanimation a fait l'objet de nombreuses études sur la manière de lutter contre la perte fonctionnelle de ce muscle. La majorité d'entre elles se sont intéressées aux différentes techniques de rééducation utilisées, notamment la ventilation dirigée et la spirométrie incitative. Or, aucune étude n'a effectué de comparaison de ces deux méthodes sur le recrutement du diaphragme.

Nous avons donc réalisé une étude dans laquelle nous cherchons à savoir laquelle de ces deux méthodes permet le meilleur recrutement diaphragmatique chez 4 sujets en service de réanimation médicale suite à une opération thoracique et/ou abdominale. Pour quantifier cela, nous avons utilisé les électrodes présentes sur la sonde naso-gastrique du système de ventilation NAVA afin d'obtenir l'activité électrique du diaphragme.

Cette étude n'a pas démontré de différence significative entre la ventilation dirigée et la spirométrie incitative. Néanmoins, les données brutes tendent à montrer de meilleurs résultats lors de la spirométrie incitative.

1. INTRODUCTION

Le diaphragme est le principal muscle de l'inspiration normale. [1] C'est un muscle possédant une anatomie complexe en forme de dôme, ses fibres musculaires insérées à la face interne des côtes induiront une descente dite « en piston » vers la cavité abdominale lors de leur raccourcissement. Cette contraction, lors de l'inspiration, entraine une augmentation du diamètre vertical et transversal bas de la cage thoracique, ce qui induit une baisse de la pression intra-thoracique expliquant l'entrée d'air. [6]

C'est un muscle très souvent atteint lors de différentes pathologies, notamment :

- Origine neurologique par toute atteinte sur le trajet du cerveau au muscle (anomalie commande centrale, défaut de transmission de la commande centrale, …)
- Origine pulmonaire par une hyperinflation (distension entrainant un aplatissement du diaphragme, déformations thoraciques, …)
- Origine musculaire par un défaut de la production de force musculaire inspiratoire (myopathie, atrophie musculaire, myosite, …)

L'atteinte diaphragmatique concerne de nombreux patients dans beaucoup de services différents, c'est pourquoi il est d'intérêt de santé publique de s'intéresser au travail de recrutement diaphragmatique. C'est ce que nous avons étudié dans le cadre post-opératoire thoracique et/ou abdominal.

A la suite d'une opération chirurgicale thoracique et/ou abdominale, le diaphragme subit deux agressions : la première par la chirurgie en elle-même, la seconde par la ventilation mécanique fréquemment utilisée en réanimation. [13] En effet, l'inactivité musculaire pendant l'anesthésie générale et l'amyotrophie induite par la ventilation contrôlée entraînent une perte de force et de fonctionnalité du diaphragme retrouvées dans de nombreuses études. On dénombre environ 500 000 patients en réanimation chaque année en France, dont 30 à 50% sont sous ventilation mécanique. [14]

La kinésithérapie intervient à ce moment-là pour solliciter de nouveau le diaphragme et travailler l'expansion pulmonaire. Ce qui nous amène à notre question de départ : En quoi les techniques de kinésithérapie respiratoire ont-elles un impact sur le recrutement diaphragmatique ?

Différentes techniques de kinésithérapie respiratoire sont utilisées, elles ont toutes un objectif de recrutement des muscles inspiratoires (et donc essentiellement du diaphragme) et d'amélioration du volume de réserve inspiratoire par le travail d'expansion pulmonaire. Mais aussi de lutte contre les complications post-opératoires et les troubles de la ventilation. [42]

Ainsi, nous nous sommes penchés sur l'étude de deux différentes techniques afin d'en étudier l'efficacité : la technique manuelle ou ventilation dirigée et la technique instrumentale ou spirométrie incitative.

Nous pouvons ainsi reformuler notre question de départ :

La kinésithérapie respiratoire instrumentale dans le but d'obtenir un recrutement diaphragmatique en réanimation est-elle plus efficace que la kinésithérapie respiratoire manuelle ?

2. REVUE DE LITTERATURE

Cette revue de littérature ayant pour thématique le recrutement du diaphragme à travers la comparaison de deux techniques de kinésithérapie respiratoire, à savoir la ventilation dirigée et la spirométrie incitative, a été réalisée en utilisant les moteurs de recherche Google, EM Premium, Science Direct et Pubmed. Ainsi que les mots clés suivants : « diaphragm », « diaphragm dysfunction », « inspiratory muscles », « physiotherapy intensive care », « breathing exercise » et « incentive spirometry ».

2.1. LE DIAPHRAGME

Le diaphragme est le principal muscle inspiratoire puisqu'il assure 60 à 70% de l'effort inspiratoire et reste actif 24h sur 24. [1] Il est atteint dans de nombreuses pathologies. Lors des rappels anatomiques et physiologiques, nous allons faire le lien entre le rôle du diaphragme, son atteinte en réanimation et la nécessité de le travailler en rééducation.

2.1.1. Rappels anatomiques

Le diaphragme est un muscle respiratoire essentiel, principal et indispensable. Il permet de séparer la cavité thoracique de la cavité abdominale. Il est en rapport en haut avec le cœur et les feuillets pariétaux de la plèvre appartenant à la cavité thoracique, en bas avec le péritoine, le foie sous la coupole droite et l'estomac sous la coupole gauche appartenant à la cavité abdominale. Une communication entre ces deux cavités se fait grâce à 3 principaux orifices : hiatus œsophagien, hiatus aortique et hiatus de la veine cave inférieure. [2]

Il possède plusieurs insertions :

- **Latérales** : sur la face endothoracique des 6 dernières côtes ;
- **Antérieures** : sur la face postérieure de l'appendice xiphoïde ;
- **Postérieures** : sur le pilier aortique, le pilier musculaire œsophagien, l'arcade du psoas, l'arcade du carré des lombes, les corps vertébraux de T12 à L4 à droite, T12 à L3 à gauche.

Le diaphragme a la forme d'un dôme au sommet aplati, dont la partie antérieure est horizontale composée de deux coupoles asymétriques et la partie postérieure est

verticale participant aux piliers lombaires. En expiration forcée, les coupoles se situent au niveau du 4ième espace intercostal à droite et 5ième espace intercostal à gauche. (**ANNEXE I**)

Il est constitué d'une multitude de muscles digastriques se fixant en périphérie. Les tendons intermédiaires s'entrecroisent au centre du diaphragme et forment ainsi deux parties : une partie centrale tendineuse appelée « centre phrénique » et une partie périphérique musculeuse. [3] Cette partie musculeuse est constituée à 60% de fibres de type I à contraction lente, voie aérobie, peu fatigables. Les autres fibres (IIa et IIb) sont des fibres à contraction rapide, voie anaérobie, fatigables. [4]

Le diaphragme est innervé par le nerf phrénique, nerf moteur essentiellement issu de C4 (avec quelques fibres de C3 et C5). Ce nerf est accolé à la veine jugulaire interne au niveau de la partie inférieure du cou ce qui offre la possibilité de le stimuler afin d'obtenir une contraction diaphragmatique indépendante de la volonté du patient. La vascularisation est assurée par les artères phréniques inférieures et supérieures.

2.1.2. Rappels physiologiques

Le déplacement diaphragmatique contribue à 75% au déplacement des gaz pulmonaires. [5] Il est accompagné des muscles inspiratoires accessoires lors d'une inspiration forcée.

Lors de sa contraction, le raccourcissement des fibres musculaires, notamment verticales, entraine une descente « en piston » du dôme diaphragmatique. On observe donc un abaissement et un aplatissement des coupoles diaphragmatiques lors de l'inspiration. La descente du diaphragme va avoir des effets sur les deux cavités : thoracique et abdominale. [6]

Au niveau abdominal, cette descente entraine une pression sur le contenu abdominal d'où une pression positive expliquant la protrusion abdominale que l'on peut retrouver à l'inspiration. Cette pression positive exerce une poussée de dedans en dehors sur les côtes constituant le rempart costal inférieur. Ce qui entraine une augmentation du diamètre transversal au niveau abdominal.

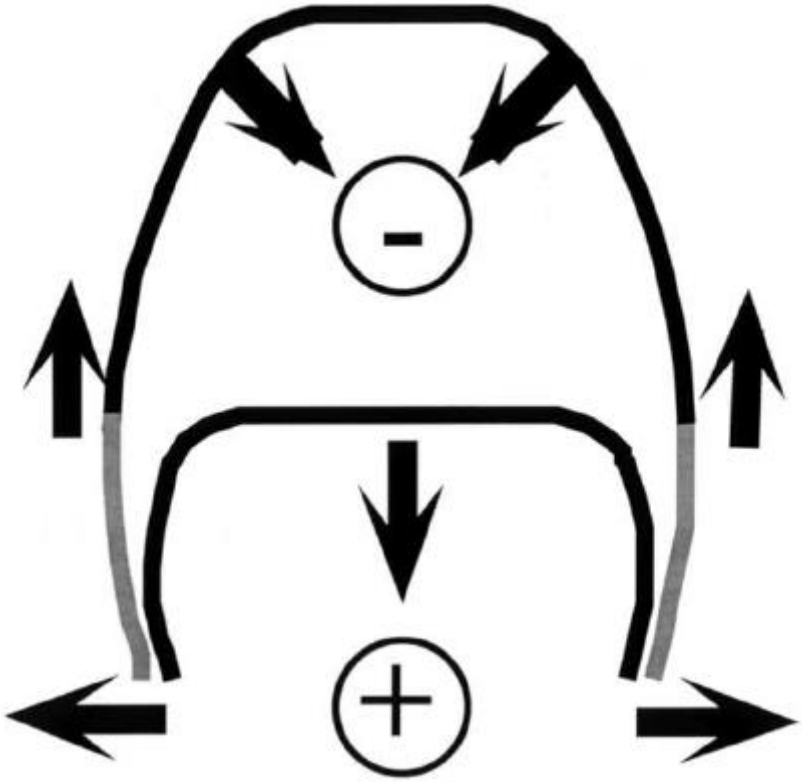


FIGURE 1 : *Actions du diaphragme sur les cavités abdominale et thoracique*

Au niveau thoracique, les insertions diaphragmatiques exercent une traction verticale sur ces mêmes côtes. Il existe donc une augmentation du diamètre vertical au niveau thoracique. (**Fig. 1**)

L'augmentation du diamètre transversal bas et du diamètre vertical de la cage thoracique sont responsables d'une augmentation du volume de celle-ci abaissant la pression intra-thoracique devenant négative par rapport à celle de l'atmosphère. La création de cette dépression mobilise le gaz inspiré vers les alvéoles expliquant ainsi le mécanisme de l'inspiration.

La course du diaphragme se déroule de sorte qu'à 50% de la capacité inspiratoire, le diaphragme se trouve à 60% de son amplitude maximale. L'excursion de la coupole diaphragmatique droite est plus importante que la gauche. Il existe une relation linéaire entre l'amplitude de la course diaphragmatique et le volume respiratoire. Le volume pulmonaire a un effet sur le diaphragme. [7] Lors d'une distension, il y a une augmentation du volume pulmonaire, ce qui va positionner le diaphragme en position basse et aplatie, source de réduction de la capacité inspiratoire.

La contraction diaphragmatique abaisse la pression intra-thoracique et augmente la pression abdominale simultanément, la différence entre ces deux pressions augmente donc et constitue la « pression transdiaphragmatique » qui est très utile et spécifique pour explorer le diaphragme. [6]

2.1.3. Explorations du diaphragme

Il existe différentes techniques pour explorer le diaphragme, notamment l'examen clinique : une diminution du périmètre abdominal à l'inspiration définit la respiration paradoxale abdominale représentant une dysfonction diaphragmatique lorsqu'elle est présente dans le volume courant. L'imagerie est également utilisée lors de respirations spontanées ou volontaires par échographie pour observer le mouvement des coupoles diaphragmatiques et leur épaisseur ainsi que pour surveiller le déchargement et l'asynchronisme respiratoire, etc. [8]

La mesure de la pression transdiaphragmatique permet d'avoir une analyse spécifique du diaphragme plus importante lorsqu'elle est obtenue suite à une

stimulation phrénique, indépendante de la volonté. En comparaison à la spirométrie et l'électromyographie de surface qui sont des méthodes plus globales sur l'ensemble des muscles inspiratoires. L'exploration du diaphragme est très importante, surtout en réanimation où l'on utilisera davantage les techniques ne demandant pas la coopération du patient (exemple : stimulation phrénique). [6 ; 7]

2.1.4. Impact de la chirurgie sur le diaphragme

Entre 17 et 88% des personnes subissant une chirurgie de l'abdomen supérieur vont souffrir de complications après l'opération. [9] La chirurgie thoracique ou abdominale a un impact sur la capacité respiratoire, les muscles respiratoires, etc. Par exemple, selon LUNARDI & al. [10], la chirurgie abdominale :

- diminue la capacité respiratoire de 22% ;
- modifie la respiration en diminuant la contribution du diaphragme et augmentant celle de la cage thoracique ;
- diminue de 12% l'activation des muscles inspiratoires.

Lors d'une lobectomie, les pressions inspiratoires et expiratoires maximales (Pimax et Pemax) chutent en post-opératoire. On observe une chute de ces deux pressions à une semaine post-opératoire, puis une récupération complète pour la Pimax et partielle pour la Pemax à un mois post-opératoire. [11]

En post-chirurgical, le diaphragme semble dysfonctionner au même titre que tout autre organe. Le patient présente souvent une dysfonction diaphragmatique due à la sévérité de la pathologie l'ayant mené jusqu'en réanimation. Associé au décubitus dorsal (DD) prolongé pour lequel sont mises en place des mobilisations précoces. [12]

Dans cette première agression, la dysfonction diaphragmatique est souvent associée au sepsis. On retrouve ainsi trois mécanismes sous-jacents résultant eux-mêmes de la présence de médiateurs de l'inflammation. [13] Ces mécanismes témoignent de l'atteinte globale du diaphragme lors de cette première agression :

- une anomalie de la chaine de transport mitochondriale des électrons (expliquant l'hypoxie tissulaire) ;

- une dysfonction des protéines contractiles ;
- une lésion du sarcolemme (expliquant l'altération des propriétés électro-physiologiques de la membrane diaphragmatique).

Le diaphragme subit deux agressions : par la chirurgie et par la ventilation mécanique fréquemment utilisée en réanimation. [13]

2.1.5. Impact de la réanimation sur le diaphragme

Dans ce cadre-là, la ventilation mécanique (VM) est régulièrement proposée. En effet, elle est aujourd'hui nécessaire pour 30 à 50% des patients admis en réanimation. [14] Elle peut être invasive (par sonde ou trachéotomie) ou non invasive (par interface faciale, nasale, buccale).

Il existe différents modes en fonction des capacités du patient :

- Mode « contrôlé » : VM sans la participation du patient ;
- Mode « assisté » : VM aidant les muscles respiratoires du patient ;
- Mode « spontané » : VM entièrement déclenchée par l'action des muscles respiratoires du patient.

Il a été prouvé que l'utilisation de la VM en mode « contrôlé » a des conséquences importantes sur le diaphragme. Ce mode est régulièrement utilisé en réanimation compte tenu de la faiblesse des patients, qui sont le plus souvent encore sédatés par les médicaments. [15] La VM contrôlée met en décharge le diaphragme, elle crée un déséquilibre du métabolisme protéique ainsi qu'une instabilité de la chaîne respiratoire mitochondriale. La conséquence principale de ces modifications est une atrophie musculaire de l'ensemble des fibres du diaphragme ainsi qu'une dysfonction contractile. [16] Cette atrophie et cette dysfonction contractile se rajoutant aux dysfonctions dues à la pathologie et à la chirurgie induisent une baisse de la force musculaire et une augmentation de la fatigabilité du diaphragme. On parle alors de dysfonction diaphragmatique induite par la VM (DDIV) selon VASSIKALOPOULOS et PETROF. [17]

La VM contrôlée atteint rapidement le diaphragme, d'après JUNG & al. [14], une semaine de VM entrainerait une perte de force de 30% du diaphragme, d'après DE JONGHE [15] et DEMOULE [18], 72h de VM en mode contrôlé entrainerait

une perte de force d'environ 50%. Tandis que pour l'atrophie, d'après POWERS & al. [19], elle apparait à partir de 24h de VM contrôlée et se caractérise par un amincissement de la membrane diaphragmatique visible à partir de 48h. La perte d'épaisseur en mode contrôlé est de 6% par jour de VM, l'atrophie en mode assisté se met en place plus lentement que lors d'un mode contrôlé. De plus, il existe une corrélation entre la durée de VM contrôlée et l'atrophie musculaire du diaphragme : plus le patient est ventilé longtemps, plus l'atrophie est importante. [20]

On mesure une DDIV avec un dynamomètre si le patient coopère pour mesurer la force du diaphragme ou par la pression transdiaphragmatique qui peut se faire avec ou sans la participation du patient avec des stimulations électriques/ magnétiques du nerf phrénique. On peut la mesurer également par la pression trachéale, par l'exploration de l'épaisseur du diaphragme grâce à l'échographie. [18]

La présence d'une DDIV est souvent associée à des complications iatrogènes et à la difficulté du sevrage de la VM dans 25% des cas [21] entrainant ainsi une augmentation de la durée de VM et de la durée de séjour en réanimation donc de l'hospitalisation.

Afin de prévenir ces DDIV, il est conseillé de préserver la trophicité du diaphragme grâce à des stimulations [22] et une VM protective permettant de maintenir une contraction diaphragmatique à l'inspiration. [13;14;19] Une VM spontanée sans trop d'aide et proportionnelle à l'effort du patient apparaît comme idéale, elle permettrait d'améliorer la force musculaire des muscles inspiratoires ainsi que le sevrage de la VM. [23]

2.2. RECRUTEMENT DES MUSCLES INSPIRATOIRES

Suite à une opération thoracique et/ou abdominale, nous utilisons les techniques de recrutement des muscles inspiratoires en progression. En effet, dans un premier temps en réanimation nous utilisons la technique manuelle aussi appelée ventilation dirigée (VD) et la technique instrumentale sous forme de spirométrie incitative (SI), auxquelles nous allons nous intéresser en priorité. Ensuite, nous utilisons l'entrainement des muscles inspiratoires (EMI) qui se différencie des deux techniques précédentes par la présence d'une résistance à l'inspiration, technique plus difficile pour le patient proposée dans un second temps.

2.2.1. Technique manuelle : ventilation dirigée (VD)

2.2.1.1. Attendus de la ventilation dirigée

La ventilation dirigée (VD) est une technique de kinésithérapie respiratoire adjuvante aux traitements médicaux. C'est un mode de ventilation qui consiste à inspirer par le nez en gonflant le thorax et l'abdomen et à expirer par la bouche en rentrant l'abdomen. On l'appelle ventilation « dirigée » puisqu'elle va être associée à plusieurs stimulations : tactiles, visuelles, verbales. [24]

Ainsi, l'utilisation de la VD devrait permettre une amélioration de la course diaphragmatique. Lors de l'inspiration, nous demandons de gonfler le ventre durant la descente du diaphragme. Lors de l'expiration, nous demandons au patient de rentrer le ventre pour accompagner la montée du diaphragme. On attend de la VD qu'elle permette d'améliorer les échanges gazeux dans l'insuffisance respiratoire en optimisant la mobilité diaphragmatique afin d'augmenter la ventilation alvéolaire. Elle serait également un excellent adjuvant aux séances de drainage bronchique puisqu'elle permettrait d'obtenir un volume inspiratoire suffisant pour être efficace sur les manœuvres concernant le flux expiratoire.

La VD viserait à faire adopter un nouveau mode ventilatoire au patient puisqu'elle montrerait un bénéfice sur la ventilation alvéolaire par rapport à la ventilation spontanée (VS) et permettrait une meilleure ventilation des bases des poumons. De ce fait, les mouvements respiratoires entrainés par la VD diminueraient la fréquence respiratoire et augmenteraient le volume courant. Une séance ne doit pas durer plus de 15-20 minutes, elle est arrêtée dès qu'il y a une respiration paradoxale et/ou une désaturation. [24] Comme l'ensemble des techniques utilisées en post-opératoire, elle a pour but de lutter contre les complications post-opératoires et les troubles de la ventilation.

2.2.1.2. Modalités pratiques de réalisation

La position du patient est semi-assise aux environ de 45° afin de faire une rééducation diaphragmatique. [25] Il est également possible de le faire en DD, c'est plus facile pour le patient puisqu'il se trouve soulagé du poids des viscères. [26]

Cependant, la position semi-assise est souvent plus accessible pour des patients de réanimation, elle diminue le risque de pneumopathie nosocomiale ainsi que le risque de régurgitation et d'inhalation, très élevé lorsque le patient possède une sonde nasogastrique et qu'il est allongé. [12] Le positionnement du patient est très important en réanimation, un changement de position régulier permet de diminuer les perturbations du rapport ventilation/perfusion ainsi que les complications post-opératoires (pneumonie, atélectasie, morbidité, …). [27]

Le thérapeute va avoir un certain positionnement : une main sur la paroi abdominale afin d'accompagner le mouvement de l'abdomen ; une main en thoracique haut qui permet de contrôler l'ampliation thoracique.

Le thérapeute va également stimuler son patient verbalement en l'encourageant à gonfler ses poumons ainsi que son ventre à l'inspiration et à vider ses poumons et son ventre à l'expiration. [24] On peut également rajouter une apnée à la fin de l'inspiration pour majorer le recrutement alvéolaire.

La VD va débuter par une expiration buccale douce en rentrant le ventre suivi d'une inspiration nasale en gonflant le ventre. Cette technique va être régulièrement combinée à d'autres techniques notamment le désencombrement bronchique, l'oxygénothérapie, …

2.2.1.3. Résultats dans la littérature

Différentes études sur la VD ont permis de démontrer son intérêt en post-opératoire, on observe une augmentation du volume courant, du temps inspiratoire [28], de la compliance [29], de la saturation, une baisse de la fréquence respiratoire et de la pression en CO2 dès les premières minutes. Alors que la ventilation spontanée (VS) sur une même durée n'entraine pas de changements. De plus, la VD n'entraîne pas d'augmentation du travail ni de la consommation énergétique des muscles respiratoires selon KOTZKI & al. [28]

Deux études ont comparé l'efficacité de la VD manuelle à celle de la VD mécanique c'est-à-dire réalisée à l'aide d'un ventilateur mécanique. L'étude de SAVIAN & al. [30] a réalisé la VD dite manuelle à l'aide d'un ballon de

rééducation auto-gonflant à 15L/min de débit associé aux pressions manuelles. Pour la VD dite mécanique, le ventilateur était réglé de façon à atteindre 130% du volume courant. Les résultats apportés par ces deux techniques sont similaires, cependant la VD mécanique favorise les plus grandes améliorations dans la mécanique ventilatoire avec une participation moindre du métabolisme. D'après l'article d'ANDERSON & al. [31] qui consiste à comparer la littérature au sujet de l'efficacité de la VD manuelle et mécanique dans le but d'améliorer la clairance des sécrétions, l'atélectasie et l'oxygénation chez les patients sous VM. Il n'y a pas de différence entre les deux ; les effets sont similaires.

La VD montre des effets positifs sur la diminution de la pression partielle en CO2 transcutanée (TcPCO2), [25] elle déclenche une hyperventilation alvéolaire traduisant une amélioration de la ventilation et apporte une sensation subjective de bien-être meilleure qu'en VS. Cependant, elle dépend énormément de l'expérience des thérapeutes.

En réanimation, la VD est couramment utilisée pour la prévention et le traitement des troubles de la ventilation. Associée régulièrement à la spirométrie incitative (SI), la ventilation non invasive (VNI) et l'oxygénothérapie. [32] Néanmoins, dans certaines études, les techniques de kinésithérapie respiratoire n'ont pas démontré d'intérêt. Notamment l'étude de LUNARDI & al. [10] qui compare les effets des techniques d'expansion pulmonaire et leurs incidences sur les complications post-opératoires. Il en résulte que les techniques d'expansion comme la VD ne devraient pas être systématiquement prescrites puisqu'elles n'entrainent pas de modifications de la mécanique thoraco-abdominale et ne diminuent pas les complications. De même, selon l'étude de PASQUINA [33] quelques essais ont montré des résultats mais l'utilisation quotidienne n'est pas justifiée puisque leur efficacité sur la prévention des complications n'est pas prouvée. D'autres études sont nécessaires pour confirmer les résultats et modifier la pratique standard.

2.2.2. Technique instrumentale : spirométrie incitative (SI)

La SI est particulièrement utilisée dans la prévention et/ou le traitement des atélectasies post-opératoires [34], les syndromes restrictifs ainsi que l'amélioration du drainage bronchique. On attend de la SI qu'elle permette un travail de ré-

FIGURE 2 : *Spiromètre incitatif lié aux débits*

FIGURE 3 : *Spiromètre incitatif Voldyne® lié aux débits et aux volumes*

expansion pulmonaire ainsi que de lutte contre les complications et les troubles de la ventilation. Comme la VD avec la présence d'un feedback en plus : elle aurait pour but de favoriser l'expansion alvéolaire, elle pourrait être utilisée pour des pathologies plus localisées en variant les positions du patient et être utile au drainage bronchique en permettant un volume inspiratoire suffisant.

2.2.2.1. Attendus de la spirométrie incitative

La spirométrie incitative (SI) est une technique de kinésithérapie respiratoire apparue pour la première fois dans la littérature en 1971 [35] visant à encourager le patient à effectuer des inspirations ou des expirations lentes et maximales via un appareil appelé spiromètre incitatif. Ici, nous allons nous intéresser uniquement à la spirométrie incitative inspiratoire. Il existe deux types d'appareil : le premier lié uniquement aux débits (**Fig. 2**) le second lié aux débits **ET** aux volumes. (**Fig. 3**)

Il s'agit d'une technique de recrutement des muscles inspiratoires liée aux débits et/ou aux volumes grâce à des inspirations lentes et maximales, incitées par un feedback visuel, suivies d'une apnée télé-inspiratoire de 3-4 secondes.

Les objectifs de la SI vont concerner l'éducation et l'apprentissage du patient (*cf. 2.2.2.4.*), le contrôle de la ventilation, la visualisation du travail ventilatoire (*cf. 2.2.2.5.*) et la mobilisation des volumes pulmonaires. En réanimation, elle est régulièrement utilisée en premier choix avec la VD puisqu'elles agiraient toutes deux dans le même but principal de recrutement alvéolaire. La résistance modérée que représente le spiromètre incitatif à l'inspiration améliorerait la sensation du mouvement inspiratoire, lorsqu'il s'agit d'une résistance supérieure on parle alors d'EMI intervenant plus tard dans la rééducation. [36] Les appareils utilisés sont individualisés, chaque patient doit apprendre à l'utiliser avec son kinésithérapeute.

La SI n'a pas vraiment de contre-indications, elle dépend de la bonne participation et compréhension du sujet, elle peut donc être limitée dans les premiers jours post-opératoires par certains facteurs tels que la douleur, la fatigue, la sédation, etc. [37]

2.2.2.2. Modalités pratiques de réalisation

La position du patient est assise ou semi-assise aux environ de 45° mais peut également être en décubitus latéral lorsque l'on recherche un travail plus localisé, comme pour la pratique de la VD.

Le programme d'une séance de SI consiste dans un premier temps à déterminer le maximum du patient, à partir de cette donnée sont établies les valeurs qu'il devra atteindre lors des prochaines séances, effectuées en autonomie. La notion d'éducation du patient est très présente. L'utilisation du spiromètre comporte dans un premier temps une expiration en dehors de l'appareil suivie d'une inspiration maximale par l'embout buccal (tenu fermement par les lèvres pour créer un lien hermétique). La consigne au cours de l'inspiration est d'amener le piston correspondant aux volumes le plus haut possible tout en maintenant la bille des débits à une valeur constante lorsqu'il s'agit d'un appareil lié aux débits et aux volumes. Lorsqu'il s'agit d'un appareil lié uniquement aux volumes, la consigne va être d'amener le piston le plus haut possible en essayant de garder un débit constant. En fin d'inspiration, nous demandons au patient d'effectuer une apnée de 3 à 5 secondes puis d'expirer passivement. Nous demandons ainsi une inspiration profonde à débit constant que le patient peut contrôler grâce au feedback renvoyé par l'appareil. [36]

Afin de déterminer les objectifs des séances, nous demandons au patient de faire 3 essais pour déterminer la valeur maximale à chaque début de journée. Lorsqu'il a déterminé son volume inspiratoire maximal grâce au feedback de l'appareil, les objectifs de la séance sont à 75% de son maximum. Le patient devra répéter l'exercice 10 fois, 4 à 5 inspirations par jour à 75% du maximum. Lors des séances en présence du thérapeute, il peut accompagner le patient en positionnant une main au niveau thoracique haut et une main en abdominal, même schéma que lors de la VD.

2.2.2.3. Résultats dans la littérature

D'après KOTANI & al. [37] qui ont étudié l'efficacité de la SI sur les mouvements respiratoires grâce à l'IRM chez des sujets sains sur un programme de

2 semaines : 5 séries de 5 inspirations et expirations maximales 2 fois par jour. La SI permet une amélioration de la fonction pulmonaire, de la capacité vitale et du mouvement diaphragmatique. Ces résultats ont été visibles au bout de 2 semaines d'utilisation du spiromètre incitatif.

La SI serait efficace si elle est pratiquée plus de 4 fois par jour. Les alvéoles ré-aérés durant la séance de SI conservent le volume acquis pendant une heure [34] ce qui est un élément plaidant en faveur d'une répétition fréquente de la SI pendant la phase post-opératoire.

La notion de débit est très importante puisqu'elle influence la distribution de la ventilation, des débits moyens assurent une homogénéisation et permettent une ventilation basale. La notion de l'apnée permet aussi l'homogénéisation dans la répartition de l'air et une baisse de l'asynchronisme alvéolaire. [36]

Du point de vue matériel, la SI présente divers avantages : une facilité d'emploi, une lecture directe des résultats et un gain de temps dans la prise en charge. Car une fois la formation du patient terminée, il peut effectuer ses séances en autonomie.

La combinaison de la VD et de la SI dans la lutte contre les complications post-opératoires et les troubles de la ventilation semble être efficace. [12;32;34] Cependant, selon différents articles, l'intérêt de la SI et de la VD en post-opératoire n'a pas été démontré [10;33;38] Ainsi, d'autres recherches sont nécessaires pour valider l'efficacité de ces méthodes.

NUNES PAIVA & al. [39] ont comparé les valeurs de l'EMI, la SI et la VD sur la valeur de Pimax pendant 30 jours. Les résultats apportés ont montré que l'EMI était plus efficace sur les valeurs de Pimax à 30 jours, ce qui était attendu compte tenu du fait qu'il s'agit d'un exercice contre résistance contrairement à la SI et à la VD. C'est pourquoi la VD et la SI sont proposées en premier puisqu'elles s'effectuent sans résistance inspiratoire et sont donc plus faciles pour le patient sortant de chirurgie, elles sont ensuite complétées par l'EMI. La combinaison de ces techniques permet un renforcement de l'ensemble des muscles inspiratoires.

2.2.2.4. Education au patient

Nous ne parlerons pas d'éducation thérapeutique qui nécessite une formation spécifique. L'éducation au patient vise à proposer au patient des actions d'information et d'apprentissage afin de lui permettre d'acquérir des compétences thérapeutiques qu'il pourra s'appliquer à lui-même. Elle est à mettre en œuvre au sein d'une équipe pluridisciplinaire afin d'améliorer le suivi de la pathologie (souvent chronique) avec une autonomie accrue du patient. [40]

Elle est souvent confondue avec l'information et le conseil présents dans le discours du soignant. Elle est présente dans différentes dimensions : l'auto-soin, l'auto-vigilance et la perception du corps, l'auto-surveillance et le regard sur soi, la résolution de problèmes biologiques et des conflits cognitifs, etc. [41] Dans toutes ces dimensions, il y a une transformation du rôle du patient qui devient actif.

Le thérapeute doit alors se concentrer sur son patient, être à l'écoute de ses besoins et de ses attentes, lui permettre de s'exprimer afin de déterminer avec lui les objectifs personnalisés à atteindre au cours des séances qui lui sont proposées dans un mode de communication interactif. [42]

L'éducation au patient est très présente dans la spirométrie incitative où elle tient une place primordiale quant à l'utilisation du spiromètre, elle concerne le patient mais peut également concerner son entourage.

2.2.2.5. Importance du biofeedback en rééducation

Le biofeedback (BFB) ou rétroaction biologique est un procédé permettant de renvoyer au sujet, par le biais d'appareil, une information visuelle ou auditive lui permettant de corriger ou modifier son état. [43] Il permet de faire prendre conscience au patient d'une fonction physiologique qu'il ignore et à apprendre à la réguler à l'aide d'un signal visuel, verbal ou auditif.

Le BFB peut se pratiquer avec différents instruments de mesure : miroir, spiromètre, … Il a montré à de nombreuses reprises qu'il permettait une optimisation de la rééducation, il ne remplace pas le travail du thérapeute mais le complète.

FIGURE 4 : *Threshold® inspiratoire*

Il a fait ces preuves en rééducation dans de nombreux domaines, notamment dans l'asymétrie posturale [44], le traitement de la constipation lié à l'anisme [45], le traitement de l'épilepsie pharmaco-résistante [46], etc.

Dans la SI, le BFB est important dans le cadre de l'utilisation du spiromètre incitatif. La présence du BFB est d'ailleurs ce qui différencie la spirométrie incitative de la ventilation dirigée. Il s'agit là d'un biofeedback de 1er type, c'est à dire que le patient produit des évènements qu'il envoie à l'appareil, l'appareil lui renvoie directement l'information correspondante. Le patient ajuste et corrige son action en fonction de l'objectif fixé et de l'information reçue. On parle de biofeedback de 2nd type lorsque le thérapeute intervient entre le patient et l'instrument, qu'il analyse les résultats et les renvoie ensuite au patient.

2.2.3. Entrainement des muscles inspiratoires (EMI)

Au cours d'une chirurgie thoracique et/ou abdominale suivi d'un séjour en réanimation, les muscles respiratoires sont atteints entrainant ainsi une insuffisance respiratoire et une fatigue de ces muscles. Afin de restituer la mécanique ventilatoire, il est essentiel de redonner leur force aux muscles respiratoires. Ici, nous nous intéressons plus particulièrement aux muscles inspiratoires.

La notion d'EMI a pour but d'améliorer la force et l'endurance des muscles inspiratoires par le biais d'exercices consistant à respirer contre une résistance inspiratoire. Un des matériels permettant cela est le *threshold inspiratoire* (**Fig. 4**). Selon JUBERT [47], la pression d'EMI doit être supérieure à 30% de la Pimax. Cette technique nécessite une durée de formation du patient d'environ 30 minutes en moyenne. Elle est proposée après la ventilation dirigée et la spirométrie incitative lorsque le patient a suffisamment récupéré pour pouvoir effectuer des exercices contre résistance.

Le travail en force est composé de courtes séries d'inspiration contre résistance quasi maximale. Le travail en endurance est composé de ventilation maximale soutenue contre résistance minime pendant une durée plus longue. L'association des deux, 15 à 30 minutes par jour à 30% de Pimax, permet une prise en charge globale. [48] La durée du programme varie en fonction des auteurs, de 5 à 12

semaines d'après DELGUSTE [48], 6 semaines d'après MUCCI & al. [49] et 8 semaines selon VERGES [50].

L'EMI est régulièrement utilisé en post-opératoire, suite à la VD et la SI, puisqu'il permet une augmentation de la Pimax, de la capacité vitale et une amélioration de la dyspnée et de la tolérance à l'effort. Cet entrainement retarde la fatigue des muscles respiratoires à l'effort permettant une prévention des effets délétères. Par ces améliorations, l'EMI permet une récupération des muscles inspiratoires facilitant le sevrage de la VM et diminue, par la même occasion, la durée du séjour hospitalier [50;51;52]. Cependant, dans un contexte de réanimation, il est parfois difficile d'obtenir la participation du patient pour l'EMI.

L'EMI a également fait ses preuves dans d'autres domaines : l'étude de MUCCI & al. [49] détermine l'effet de l'EMI sur la performance à différentes intensités chez des sujets sains et non sportifs dans un protocole de 6 semaines. L'EMI consistait à respirer dans un appareil respiratoire sur lequel une résistance inspiratoire avait été appliquée à raison de 2 fois par jour, 5 fois par semaine pendant 6 semaines. Suite à ce programme, la Pimax a augmenté de 33% et la VMA a également augmenté, cela a montré une amélioration globale de la performance.

L'EMI est aussi très présent dans la prise en charge de la mucoviscidose, il permet d'avoir un impact favorable sur l'endurance, la force et la fatigue des muscles inspiratoires, l'épaisseur de la membrane du diaphragme et sur la dyspnée. [54] De même chez le patient BPCO où il apporte des effets bénéfiques à court terme sur la capacité d'exercice et la dyspnée d'effort. [55]

Ainsi, le système respiratoire est très impliqué dans la limitation à l'effort. Un entrainement spécifique de ce système est intéressant aussi bien chez le sportif à la recherche de performance que chez le malade afin d'améliorer sa tolérance à l'effort, sa dyspnée, etc.

L'EMI permet de compléter le travail de renforcement des muscles inspiratoires en réanimation, débuté par la ventilation dirigée et la spirométrie incitative, dont il se différencie par la présence d'une résistance inspiratoire, absente dans les autres techniques.

3. ETUDE EXPERIMENTALE

3.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

3.1.1. Raisonnement et problématique

Le diaphragme étant régulièrement atteint en post-opératoire, de par la pathologie [13], la chirurgie [10], le décubitus dorsal prolongé [12] mais également la VM en réanimation [16;17;21]. La littérature a démontré que le diaphragme en réanimation est atteint dans son intégrité : au bout de 72h de VM il perd 50% de sa force [18]. Ainsi, il serait pertinent de s'intéresser aux méthodes qui permettent de solliciter le diaphragme en vue de son recrutement.

En effet, nous savons aujourd'hui que le travail inspiratoire est régulièrement utilisé en post-opératoire puisqu'il permet une amélioration de nombreux critères : Pimax, capacité vitale, tolérance à l'effort, améliore le sevrage de la VM, diminue la durée de VNI post-extubation et de séjour hospitalier. [52;53] De ce fait, nous nous sommes interrogés sur la méthode la plus efficace en recrutement diaphragmatique.

Diverses méthodes thérapeutiques sont utilisées à l'heure actuelle dans un but de recrutement diaphragmatique. Nous opposerons d'une part, la méthode « manuelle » : ventilation dirigée et d'autre part, la méthode « instrumentale » représentée ici par la spirométrie incitative. Ces deux méthodes se différencient par la présence d'un biofeedback dans la SI.
Différentes études évaluent l'intérêt de la VD et de la SI en post-opératoire. Elles concluent que l'une comme l'autre améliorent les critères du patient [28;29;37] et luttent contre les complications et les troubles de la ventilation [32]. Mais il existe aussi des études allant à l'encontre de ces conclusions [10;15;33;38]. Ce sont des méthodes complémentaires, une seule étude effectue une comparaison de la VD et de la SI sans différence significative sur la méta-analyse de l'insuffisance respiratoire [9] mais aucune ne compare leur efficacité sur le recrutement diaphragmatique.

Nous avons donc décidé de mener une étude comparative de la VD et de la SI chez des sujets ayant subi une opération thoracique et/ou abdominale en s'intéressant spécifiquement au recrutement du diaphragme.

TABLEAU I : *Caractéristiques des sujets*

Sujets	Sexe	Age	Taille (cm)	Poids (kg)	IMC	Score MRC	Motif d'hospitalisation	Antécédents
Sujet 1	M	74	173	89	29,7	31/60	Cure d'éventration après cholécystectomie compliquée	Médicaux : HTA, nodules pulmonaires, hernie hiatale, RGO. Chirurgicaux : cholécystectomie par laparotomie, péritonite biliaire, colectomie droite, cure d'éventration, prostatectomie, fracture malléole droite.
Sujet 2	M	48	172	58	19,6	25/60	Choc septique sur médiastinite	Tabac
Sujet 3	M	61	185	62	18,1	33/60	Occlusion sur bride multi-opérée compliquée de collections intra-abdominales	Médicaux : AVC ischémique sylvien droit, hémiparésie brachio-faciale fauche + épilepsie vasculaire séquellaire, fractures costales gauche suite à des crises convulsives, agénésie rein gauche. Chirurgicaux : imperforation anale à la naissance, occlusion intestinale à 4 ans avec iléostomie de dérivation jusqu'à 8 ans.
Sujet 4	M	79	176	91	29,4	28/60	Suite prise en charge hémothorax	Médicaux : FA, myocardiopathie, dysfonction diastolique, diabète type II, HTA, arthrose
Moyenne		**65,5**	**176,5**	**75**	**24,2**			
Ecart-type		**12,05**	**5,12**	**15,08**	**5,38**			

3.1.2. Hypothèses

Nous avons émis comme hypothèse :

- La spirométrie incitative permet un meilleur recrutement diaphragmatique que la ventilation dirigée.
  Ainsi en découle : l'application d'un biofeedback permet une optimisation de la ventilation dirigée.

3.2. MATERIEL ET METHODES

3.2.1. Population

Cette étude a été réalisée sur un échantillon de 4 sujets masculins hospitalisés dans un service de réanimation médicale. Les caractéristiques des sujets sont présentées dans le **TABLEAU I**.

3.2.2. Critères d'inclusion

Les patients retenus pour l'étude présentaient les critères d'inclusion suivants :

- Une opération thoracique et/ou abdominale.
- Utilisation actuelle ou précédente de VM.
- Patient extubé.
- Appareillé par sonde naso-gastrique du système NAVA.
- Une absence d'atteinte neurologique.

3.2.3. Critères d'exclusion

Les patients présentant un ou plusieurs de ces critères n'étaient pas retenus pour l'étude :

- Patient sous sédation, sous l'emprise des médicaments.
- Limites de l'opération rendant l'étude impossible.

3.2.4. Appareil de mesure

3.2.4.1. Le système NAVA comme outil d'évaluation

Le système NAVA (Neurally Adjusted Ventilatory Assist) est un mode de ventilation spontanée-assistée basé sur l'enregistrement continu de l'activité électrique du diaphragme appelé signal Eadi [56]. L'enregistrement du signal se fait grâce à une

FIGURE 5 : *Ecran du ventilateur Servo-i MAQUET® lors de la ventilation NAVA*

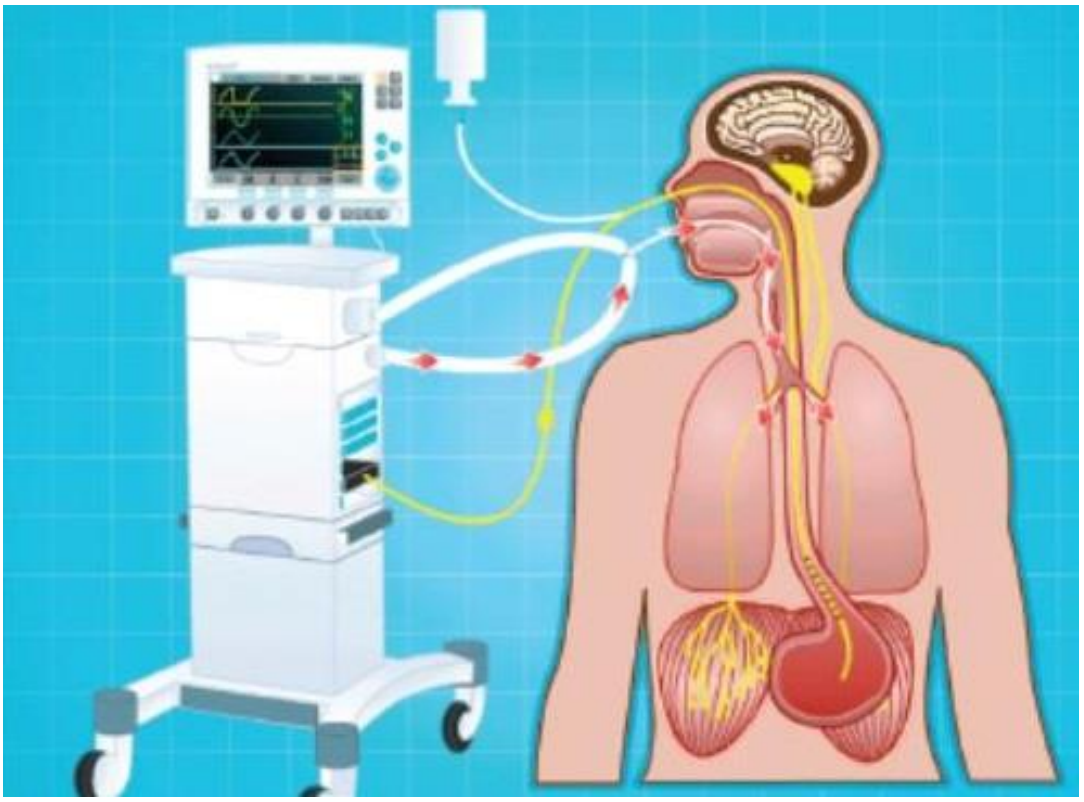


FIGURE 6 : *Montage de la sonde naso-gastrique du système NAVA associée au ventilateur Servo-i MAQUET®*

sonde gastrique comportant des électrodes au niveau de l'œsophage qui détectent l'activité diaphragmatique. Elle est ensuite visible sous forme de courbes sur l'écran du ventilateur. (**Fig.5**). Ce système est possible avec le ventilateur de réanimation Servo-i de MAQUET®. (**ANNEXE II**)

La réception du signal Eadi est située plus près des centres nerveux que les triggers utilisés dans les autres ventilateurs, de ce fait le délai de déclenchement de l'aide inspiratoire est réduit. [56] Ainsi, le système NAVA permet une meilleure synchronisation ventilateur-patient, une assistance proportionnelle dépendante de la stimulation diaphragmatique qui peut varier à chaque cycle. [57] Il permet donc également de limiter les sous-assistances responsables de fatigue musculaire et les sur-assistances dues aux efforts inefficaces.

3.2.4.2. Spécificités de la sonde NAVA dans notre étude

Dans notre étude, nous nous intéresserons uniquement à la sonde naso-gastrique NAVA comme outil d'évaluation de l'activité diaphragmatique. Les électrodes se situent sur les parois, l'Eadi détectée va donc concerner le centre du diaphragme proche de la sonde, les données ne concernent pas l'ensemble du muscle. [58] Ainsi, nous demanderons au patient d'effectuer des inspirations maximales dans les deux techniques abordées, nous les quantifierons grâce à cette sonde. Le positionnement de la sonde nécessite une formation particulière mais est très aisé d'après ROSON et TOURNIER [56], cependant l'instabilité de cette sonde représente l'un des principaux inconvénients. Une autre difficulté majeure est qu'il existe un réel manque d'étude sur le système NAVA.

3.2.5. Montage

En mode NAVA, l'Eadi est captée grâce à des électrodes montées dans un cathéter et positionnées dans l'œsophage au niveau du diaphragme. Ces électrodes sont reliées à un ventilateur de réanimation Servo-i MAQUET®. Ce ventilateur est muni d'un écran sur lequel est retransmise l'Eadi. (**Fig.6**)

3.3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Notre protocole consiste à effectuer une séance de VD et une séance de SI dans une même journée chez des sujets en réanimation et d'observer

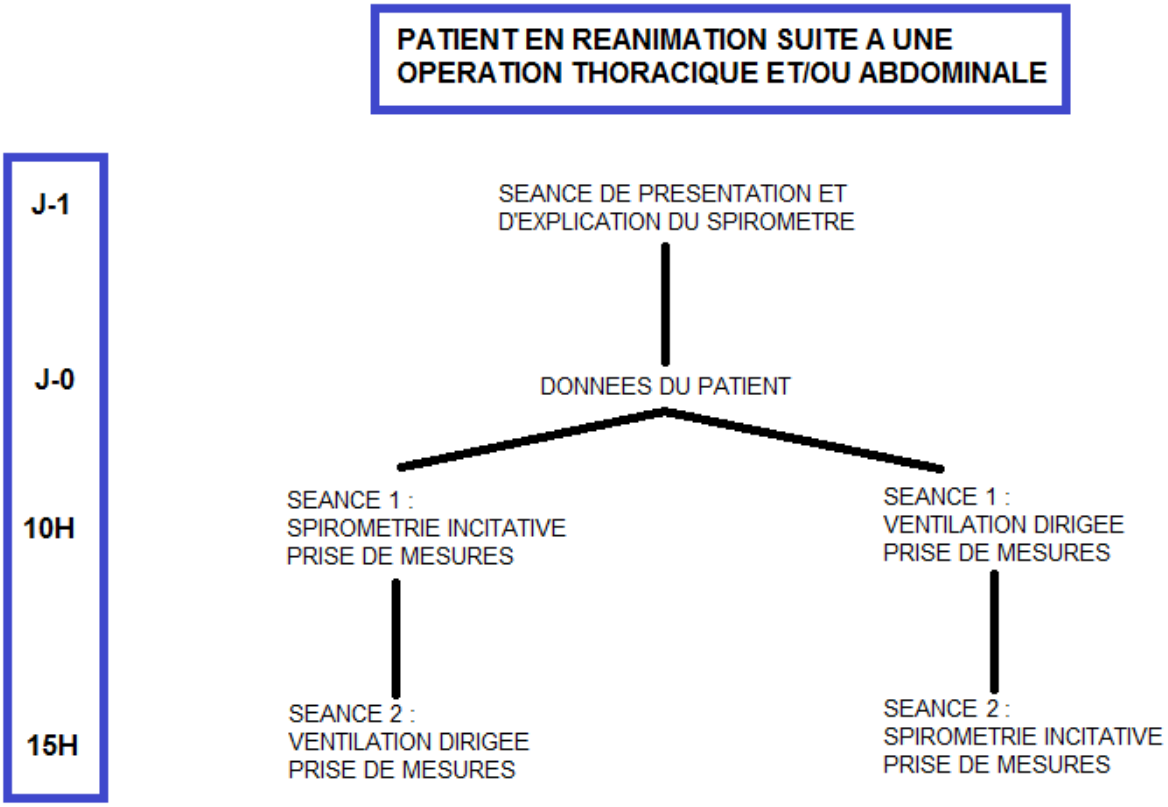


FIGURE 7 : *Schéma du protocole*

laquelle de ces techniques permet le meilleur recrutement diaphragmatique ainsi que l'impact du BFB. Nous allons demander une inspiration maximale à débit maximal pour rechercher une sollicitation optimale du diaphragme. Le protocole de l'étude se déroule sur une journée avec la 1ère séance en milieu de matinée, la 2nde en milieu d'après-midi. Ces séances sont réparties au hasard.

Il s'agit d'un essai randomisé à l'aide d'un site de randomisation, l'ordre des séances en fonction des patients a donc été déterminé par le hasard. Cette randomisation a été choisie afin de limiter les biais liés à la fatigue du sujet. Les mesures sont effectuées par un seul et même thérapeute. Le patient est installé au lit en position semi-assise, il donne au préalable son accord pour participer à l'étude.

Une séance de désencombrement bronchique peut être effectuée dans un premier temps en fonction de la gêne que peut ressentir le patient à cause de l'encombrement.

Déroulement du protocole : (**Fig.7**)

1ère étape : présentation et explication du fonctionnement du spiromètre incitatif. La veille de la mise en place du protocole, le thérapeute présente et explique l'utilisation du spiromètre au patient. Il doit s'assurer que le patient comprenne bien le fonctionnement.

2e étape : récupération des données du patient.

a) L'opérateur explique au patient le déroulement des différentes mesures à effectuer et s'assure de sa bonne compréhension ainsi que de son accord.
b) Il récupère les données spécifiques au patient, à savoir : sexe, âge, poids, taille, antécédents médicaux et chirurgicaux, chirurgie ainsi que cause, oxygénation, gaz du sang et score MRC.

3e étape : 1ère séance milieu de matinée en fonction de la randomisation.

♦ Soit il s'agit de la spirométrie incitative, une séance de présentation et d'explication du spiromètre incitatif type Voldyne® (**Fig.3**) associée à une éducation du patient ont eu lieu au préalable. Pour la prise de mesure, le thérapeute demande au patient la consigne suivante : « Vous allez serrer les lèvres autour de l'embout buccal, vous commencez par vider complètement vos poumons puis vous

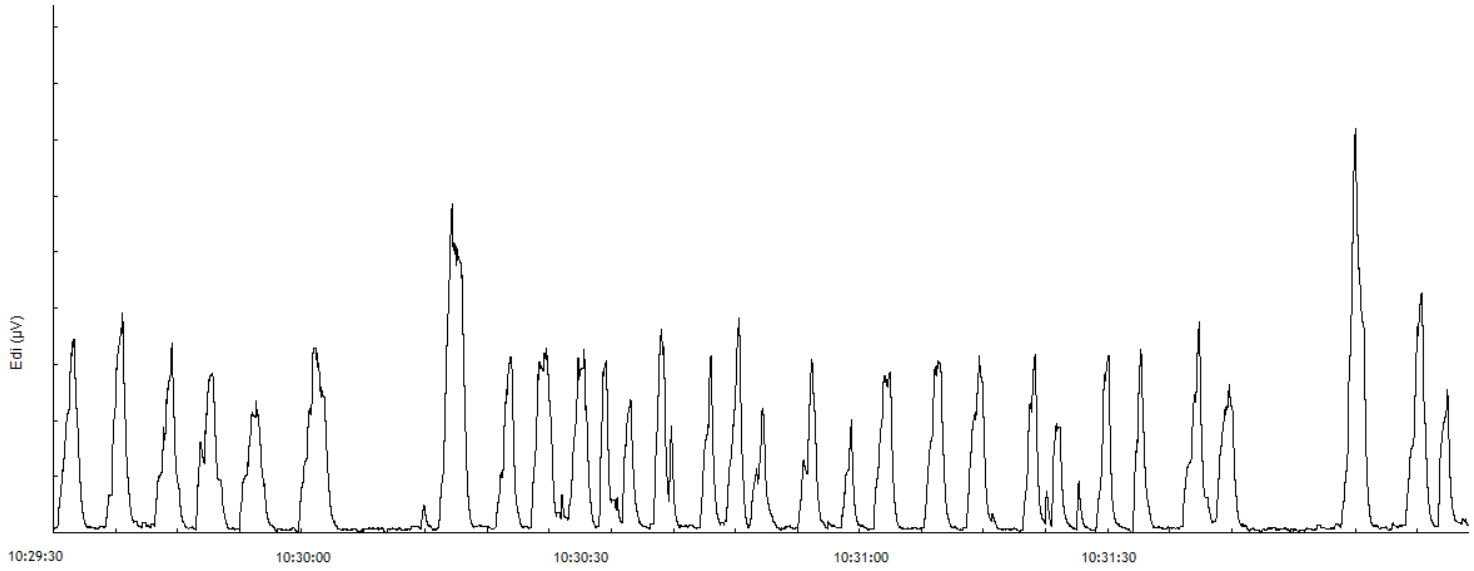


FIGURE 8 : *Extrait de courbes d'Eadi du patient 3 lors de la séance de SI*

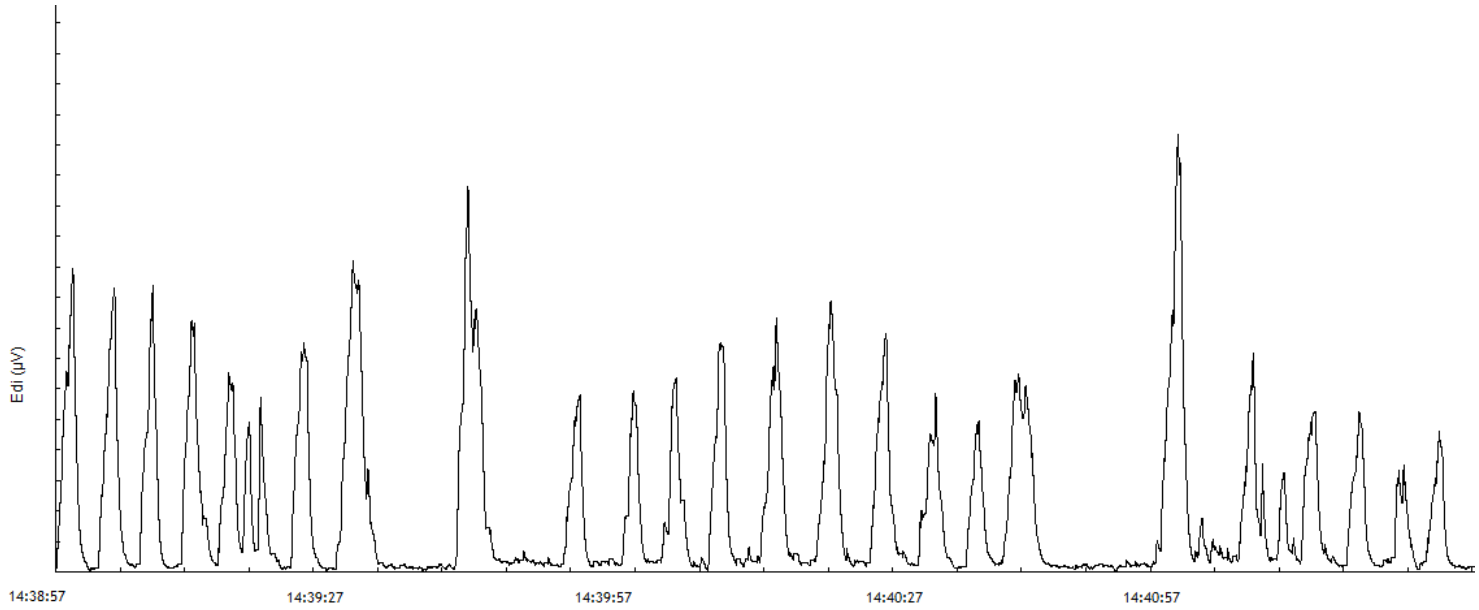


FIGURE 9 : *Extrait de courbes d'Eadi du patient 3 lors de la séance de VD*

inspirez vite et fort dans l'embout buccal pour faire monter le palet le plus haut possible ». Le thérapeute va effectuer un accompagnement de la respiration au niveau thoracique et abdominal pour solliciter l'inspiration maximale à débit maximal, associé à des sollicitations verbales. (**Fig. 8**)

♦ Soit il s'agit de la ventilation dirigée, le thérapeute va effectuer le même accompagnement manuel de la respiration associé à la consigne suivante : « Vous allez d'abord souffler pour vider vos poumons au maximum, puis vous gonflez vite et fort les poumons sous mes mains. » (**Fig. 9**)

Lors de la séance, nous relevons la saturation ainsi que l'oxygénation. La prise de mesure consiste à relever, grâce aux courbes sur l'écran du ventilateur, l'activité électrique du diaphragme. Nous allons relever l'Eadi de repos ainsi que les Eadi max à chaque inspiration maximale, nous attendrons une dizaine de cycles respiratoires afin que le patient revienne à un Eadi proche du repos. (**Fig. 8 et 9**) Au total, nous demanderons 5 inspirations maximales.

4e étape : 2nde séance milieu d'après-midi : VD ou SI en complément de la 1ère séance (si la première séance est une VD alors la seconde séance est une SI, et inversement). Nous effectuerons la 2nde séance en utilisant les mêmes consignes et pratiques vues à l'étape 3.

3.4. ETUDE STATISTIQUE

L'objectif de notre étude est de rechercher une éventuelle amélioration de l'Eadi lors de la séance de SI. Nous cherchons donc à savoir s'il y a une différence significative entre les mesures prises lors de la séance de VD et celles prises lors de la séance de SI. L'échantillon est représentatif de la population, il répond à la loi normale selon le test de Shapiro-Wilk. Ainsi, nous pouvons utiliser le test de Student afin de comparer les données, en prenant en compte le faible effectif de l'échantillon.

L'hypothèse nulle Ho est alors : « il n'existe pas de différence entre les variables X et Y». La région critique dans laquelle nous rejetons l'hypothèse nulle est définie à un risque α de 5% de se tromper. Dans notre étude, nous allons effectuer la comparaison grâce à Excel® qui propose une probabilité de se tromper appelée « p-value ». Si p-value<α : on rejette Ho, il y a une différence significative entre X et Y. Si p-value>α : on accepte Ho, il n'y a pas de différence significative entre X et Y.

SEANCE SPIROMETRIE INCITATIVE	14/10/15 à 15h Patient 1	27/11/15 à 10h Patient 2	05/01/16 à 10h Patient 3	23/01/16 à 15h Patient 4
SpO2 %	96%	94%	99%	96%
Oxygénation	30% FiO2 = 3L	/	2L	4L
Eadi repos	20	17	27	6
Eadi max 1	39	26	106	15
Eadi max 2	33	25	109	20
Eadi max 3	32	30	93	23
Eadi max 4	31	29	104	38
Eadi max 5	42	36	91	19
Moyenne Eadi max	**35,4**	**29,2**	**100,6**	**23**
SEANCE VENTILATION DIRIGEE	**14/10/15 à 10h**	**27/11/15 à 15h**	**05/01/16 à 15h**	**23/01/16 à 10h**
SpO2 %	96%	99%	99%	95%
Oxygénation	30% FiO2 = 3L	/	2L	4L
Eadi repos	20	17	28	5
Eadi max 1	35	25	64	12
Eadi max 2	35	29	38	12
Eadi max 3	31	27	87	13
Eadi max 4	34	28	70	12
Eadi max 5	30	26	75	21
Moyenne Eadi max	**33**	**27**	**66,8**	**14**
Différence SI-VD	**+2,4**	**+2,2**	**+33,8**	**+9**

TABLEAU II : *Résultats des mesures de l'activité électrique du diaphragme (Eadi) en µV*

4. RESULTATS

Nous sommes en présence d'un échantillon de 4 patients : 4 hommes, âgés de 48 à 79 ans, tous hospitalisés dans le même service de réanimation médicale.

Lors des séances, la saturation et l'oxygénation du patient ont été relevées. Pour faciliter l'analyse des résultats, nous convertissons tout en litres d'oxygène. Les valeurs retenues pour les prises de mesure de l'Eadi sont regroupées dans le **TABLEAU II**. L'Eadi est donnée en µV.

4.1. PRESENTATION DES RESULTATS

Dans un premier temps, nous avons comparé les moyennes totales de l'activité électrique du diaphragme chez les 4 sujets entre la séance de VD et la séance de SI. Pour cela, nous partons de l'hypothèse nulle Ho : « il n'y a pas de différence significative dans les valeurs d'Eadi entre la VD et la SI ».

Nous sommes dans le cas d'un test bilatéral (la différence entre les deux tests n'est pas orientée) entre deux échantillons appareillés (comparaison de moyenne chez les mêmes individus). Nous allons comparer les moyennes d'Eadi max de tous les patients pour la SI et pour la VD.

Nous observons que les résultats sont supérieurs dans la spirométrie incitative par rapport à la ventilation dirigée. En appliquant le test T de Student grâce au logiciel Excel®, nous trouvons comme p-value pour la comparaison des moyennes globales de VD et de SI : P-value=0,21 supérieure au risque α de 5%. Ainsi, nous sommes dans la « région d'acceptabilité » de l'hypothèse nulle. **Nous acceptons Ho et pouvons dire que statistiquement : il n'y a pas de différence significative entre les moyennes globales de VD et de SI.**

Cette conclusion nous a amené à approfondir l'analyse, en comparant individuellement les données (**TABLEAU III**). Pareillement à la comparaison des moyennes, nous sommes dans la « région d'acceptabilité » de l'hypothèse nulle pour les patients 1, 2 et 4. **Nous acceptons Ho et pouvons dire que statistiquement : il n'y a pas de différence significative entre les données de VD et de SI pour les sujets 1, 2 et 4.**

Sujets	P-value
Patient 1	0,42 > α
Patient 2	0,39 > α
Patient 3	0,04 < α
Patient 4	0,13 > α

TABLEAU III : *Valeurs de P-value individuelles*

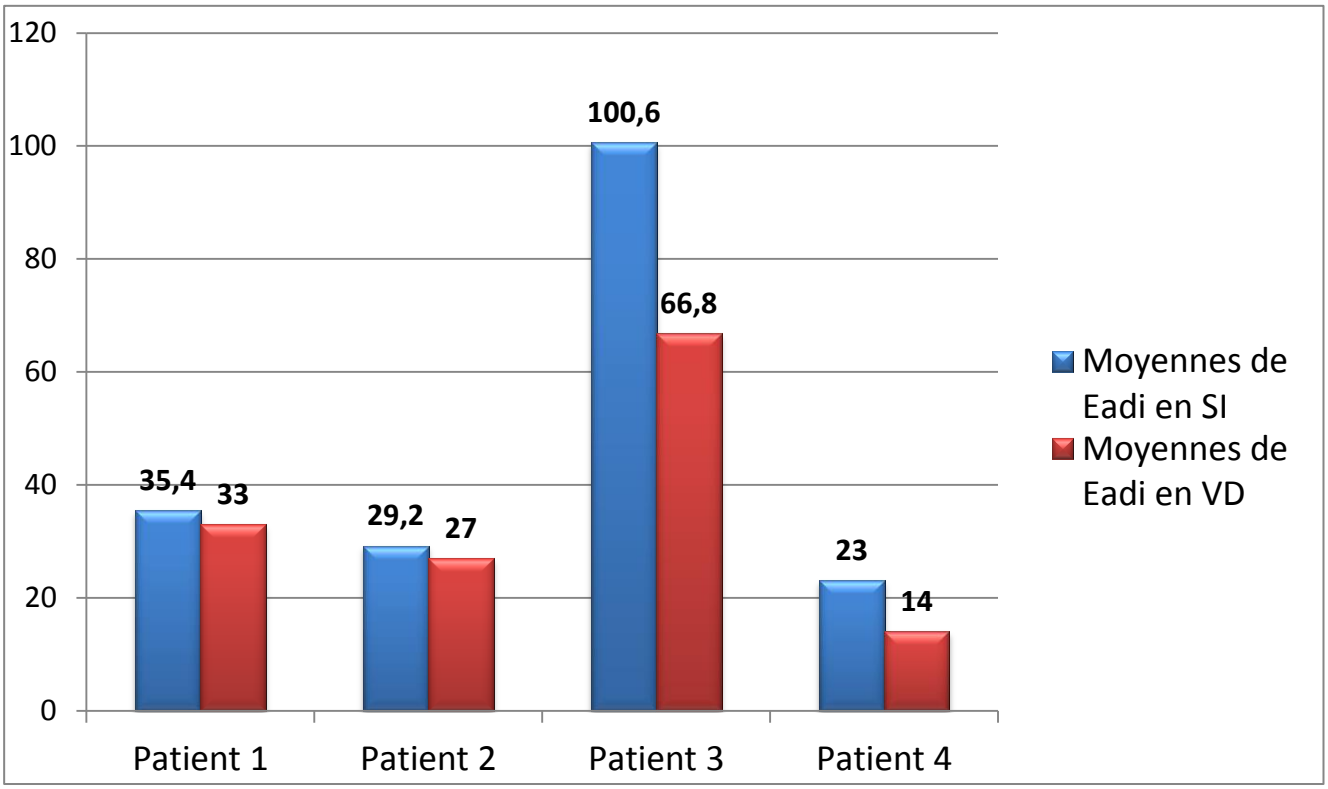


FIGURE 10 : *Différences des moyennes d'activité électrique diaphragmatique*

En revanche, nous sommes dans la « région de rejet » de l'hypothèse nulle pour le patient 3 puisque la p-value est inférieure à 5%. **Nous refusons Ho et pouvons dire que statistiquement : il y a une différence significative entre les données de VD et de SI pour le patient 3.**

Les différences de moyenne d'activité électrique diaphragmatique sont résumées dans la **TABLEAU II - IV** et la **FIGURE 10**. Nous pouvons observer que **chez les 4 sujets les résultats de la SI sont supérieurs à ceux de la VD.**

4.2. COEFFICIENTS DE CORRELATION

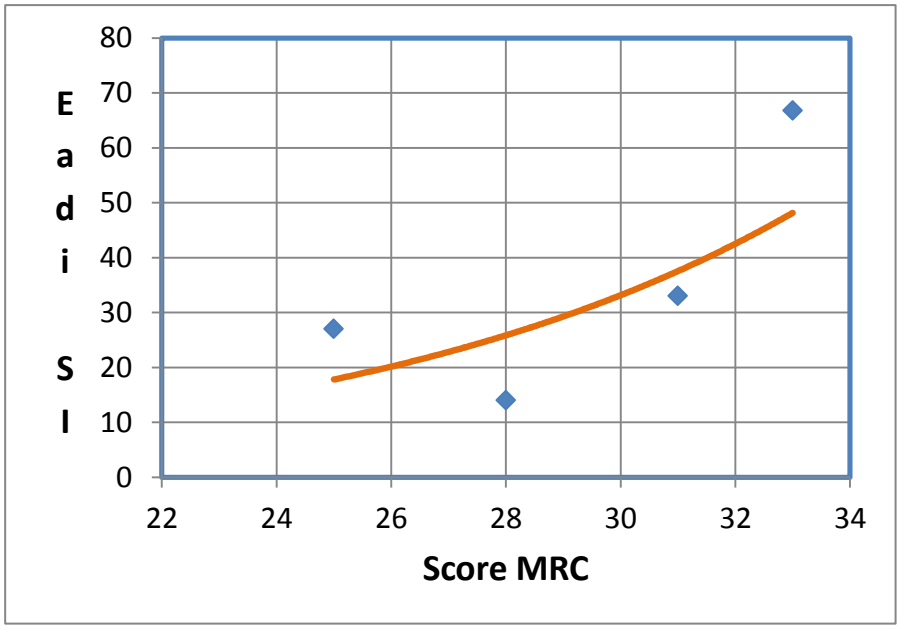
Nous cherchons à établir des corrélations entre les caractéristiques des patients et les résultats obtenus. Nous obtenons avec le logiciel Excel® un coefficient de corrélation r quasi nul pour la corrélation entre l'oxygénation et l'Eadi ($\boldsymbol{r}$ **= -0,13** en SI et $\boldsymbol{r}$ **= -0,24** en VD). De même pour la corrélation entre l'âge et l'Eadi ($\boldsymbol{r}$ **= -0,23** en SI et $\boldsymbol{r}$ **= -0,32** en VD).

Nous obtenons une corrélation négative forte r de **-0,65** entre l'IMC et l'Eadi en VD et SI. Ainsi qu'un coefficient de corrélation r de **0,75** entre le score MRC et l'Eadi en VD et SI et une corrélation positive forte entre la saturation (SpO2) et l'Eadi ($\boldsymbol{r}$**= 0,88** en SI et $\boldsymbol{r}$ **= 0,80** en VD).

De ce fait, ni l'oxygénation ni l'âge ne sont corrélés aux résultats du sujet. Cependant, l'IMC, le score MRC et la SpO2 présentent un coefficient de corrélation fort (car situé entre 0,5 et 1 ou -0,5 et -1).

Sujets	Différences moyennes SI – VD
Patient 1	+2,4
Patient 2	+2,2
Patient 3	+33,8
Patient 4	+9

TABLEAU IV : *Différences moyennes SI – VD*



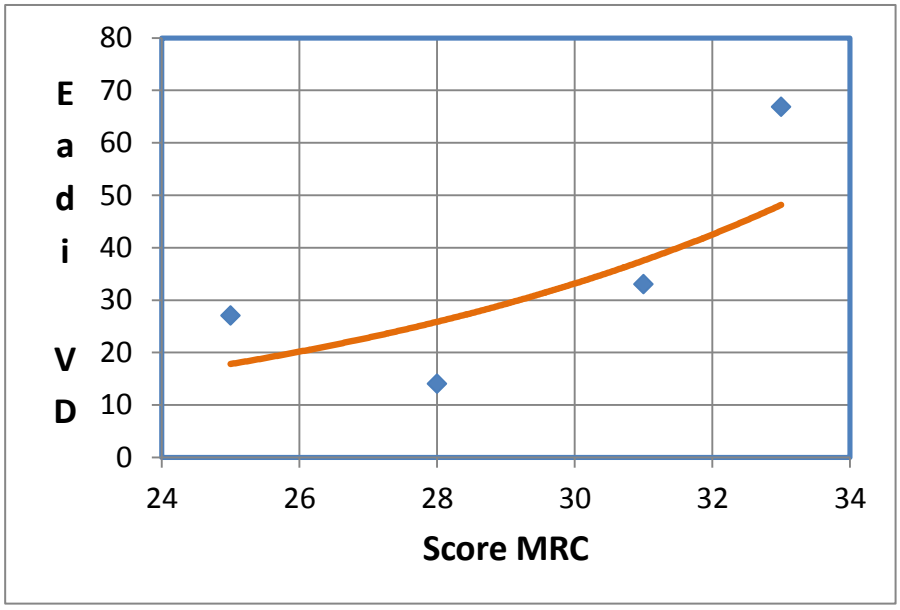


FIGURE 11 : *Activité électrique du diaphragme en fonction du score MRC*

5. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'étudier le recrutement diaphragmatique via l'Eadi chez des sujets opérés d'une chirurgie thoracique et/ou abdominale.

5.1. ANALYSE DES RESULTATS

D'après le test T de Student, la différence que l'on observe entre les moyennes globales en ventilation dirigée et celles en spirométrie incitative n'est pas significative. Chez un même sujet, la différence entre les mesures des 5 inspirations maximales en VD et en SI n'est pas significative pour 3 patients sur 4. Ainsi, nous rejetons notre hypothèse selon laquelle la spirométrie incitative serait plus efficace que la ventilation dirigée. Néanmoins, les résultats de ce test sont à modérer compte tenu du faible effectif. Si on étudie les données en valeurs absolues nous pouvons voir que la SI permet d'obtenir de meilleurs résultats que la VD donc que le biofeedback pourrait permettre un meilleur recrutement diaphragmatique. Le thérapeute effectue deux séances identiques au niveau de ses sollicitations manuelles et verbales et la consigne est la même : effectuer la plus grande et rapide inspiration possible. La seule différence entre ces deux séances est la présence du BFB fourni par le spiromètre incitatif. En utilisant les données brutes, nous pouvons effectivement observer de meilleurs résultats dans le cadre d'une séance de spirométrie incitative : la différence des moyennes (SI – VD) est en faveur de la SI chez l'ensemble des sujets. (**Fig. 10** ; **TABLEAU IV**) Les valeurs absolues permettraient de dire que la SI admet un meilleur recrutement diaphragmatique et donc que le BFB permettrait d'améliorer la VD.

La différence est significative uniquement pour le sujet 3, en observant de plus près ses caractéristiques, nous pouvons associer ses résultats avec son score MRC qui est le plus élevé des 4 sujets (33/60) ce qui veut dire qu'il est également le moins déconditionné. (**ANNEXE III**)

A partir de ce score MRC (33/60) plus élevé, le patient est plus performant en spirométrie incitative qu'en ventilation dirigée. (**Fig.11**) On pourrait alors émettre l'hypothèse que lors d'une amélioration du score MRC et donc d'une diminution du déconditionnement, le patient présenterait un meilleur maintien corporel qui lui permettrait de mieux utiliser le spiromètre.

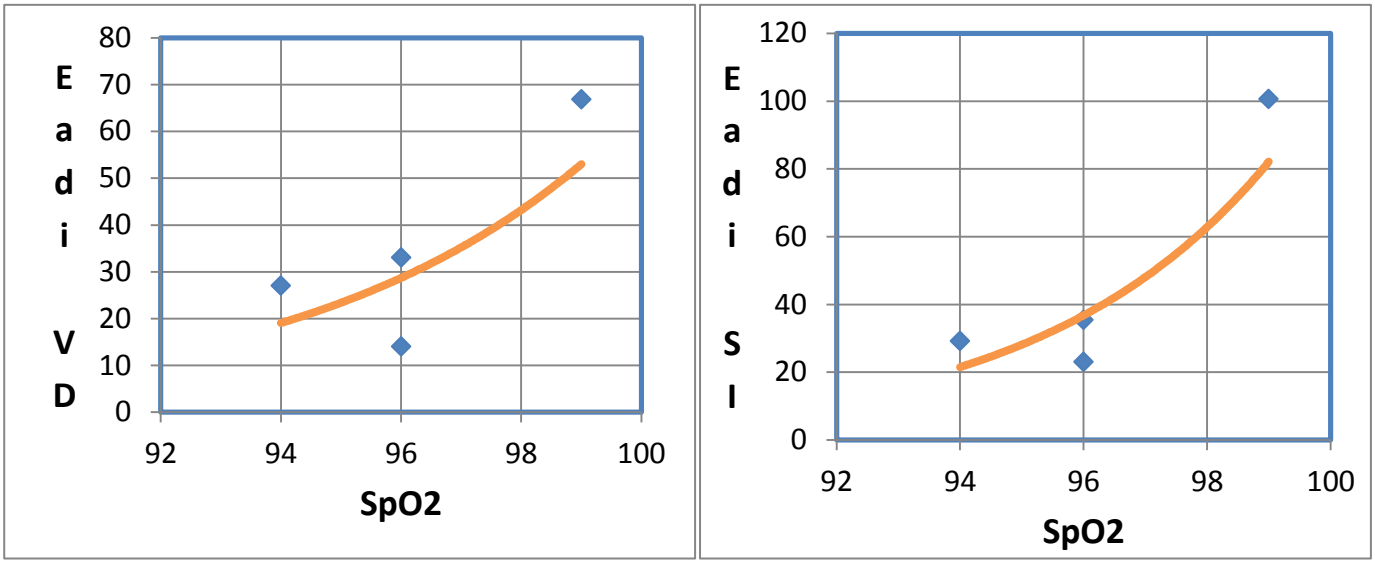


FIGURE 12 : *Activité électrique du diaphragme en fonction de la saturation*

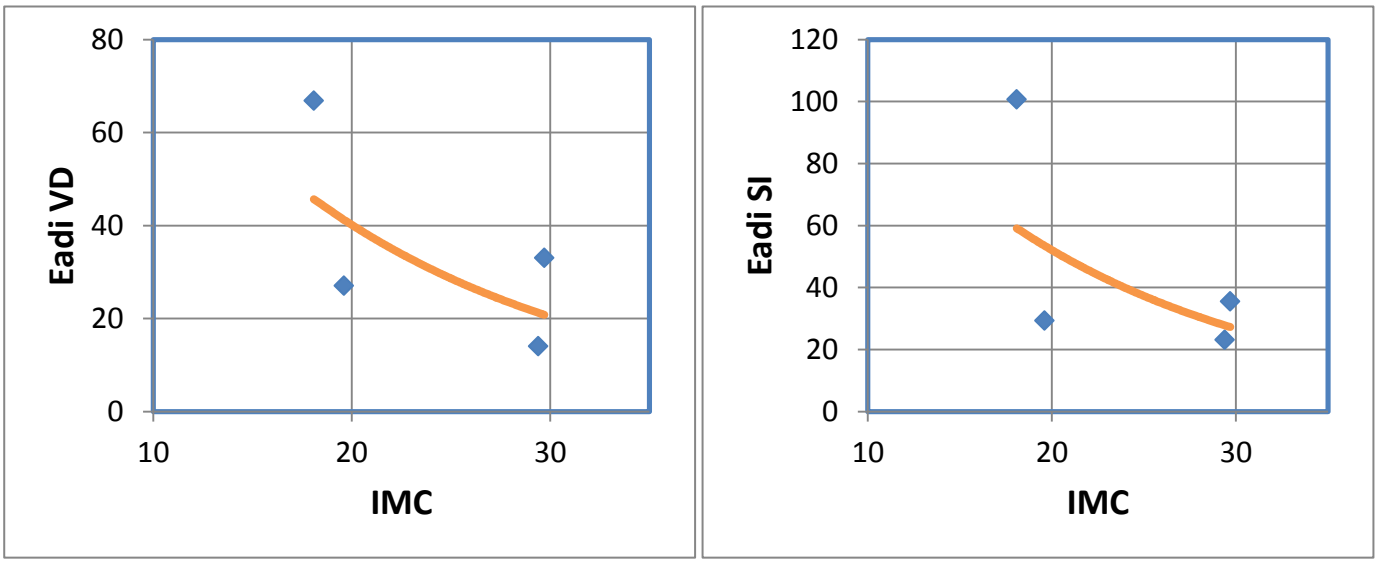


FIGURE 13 : *Activité électrique du diaphragme en fonction de l'IMC*

D'après l'étude des coefficients de corrélation, il existe une corrélation positive forte r de 0,75 entre le score MRC et l'amélioration de la SI par rapport à la VD, (**Fig. 11**) de même pour la saturation ($\boldsymbol{r}$ = 0,88 SI ; $\boldsymbol{r}$ = 0,80 VD) (**Fig. 12**).

Nous posons comme hypothèse qu'une amélioration de l'état global du sujet caractérisée par une augmentation de la saturation et du score MRC permettrait une amélioration de la spirométrie incitative par rapport à la ventilation dirigée. De même pour l'IMC où nous avons un coefficient de corrélation négatif liant l'IMC à l'Eadi ($\boldsymbol{r}$ = -0,65) (**Fig. 13**), ainsi l'augmentation de l'IMC peut traduire un surpoids et donc une dégradation de l'état global du sujet entrainant une réduction des résultats de la SI par rapport à la VD.

Lors de la comparaison des résultats avec ceux de la littérature, nous observons les mêmes effets : la SI est un adjuvant à la VD, elle permet d'optimiser les résultats de celle-ci de par la présence d'un biofeedback. Nous pouvons également observer que la SI permet une amélioration du mouvement diaphragmatique [37] si on corrèle l'amélioration de l'Eadi en SI avec une amélioration du mouvement diaphragmatique, une analyse échographique serait plus juste pour l'évaluer. Cependant, le manque de littérature comparative ne nous permet pas de faire un lien avec nos données chiffrées.

5.2. LIMITES ET BIAIS DE L'ETUDE

- **L'échantillon**

La première limite de l'étude est la taille de notre échantillon, en effet celui-ci n'est pas suffisamment grand pour pouvoir étendre nos résultats à une population plus grande. L'échantillon présente également d'autres biais : on peut citer l'absence de femmes mais également l'absence de prise en compte de la pathologie, la chirurgie, la distance de la chirurgie, la durée de VM et les antécédents du sujet. On recherche uniquement l'effet du travail inspiratoire sans tenir compte des déficiences du patient. De même qu'il n'y a pas d'évaluation du niveau cognitif et neuro-psychique, ce qui pourrait être intéressant dans un contexte de réanimation où de nombreux patients sont encore sous l'effet des médicaments.

- **Le matériel**

L'utilisation de la sonde naso-gastrique du système NAVA est responsable de biais notamment au niveau de l'instabilité de la sonde et de la position des électrodes qui peuvent différer entre chaque patient puisqu'il n'y a pas de moyens de vérifier si la position est identique pour tous. Mais également par l'emplacement des électrodes qui ne captent que l'activité électrique du diaphragme en son centre, donc cette activité ne concerne pas l'ensemble du muscle. De plus, le système NAVA est un système récent, pas encore très utilisé, c'est pourquoi il a été très difficile de trouver des patients et il n'existe pas encore suffisamment d'articles pouvant témoigner de la fiabilité des données concernant l'Eadi.

L'utilisation du spiromètre incitatif peut également représenter un biais si le patient l'a déjà utilisé précédemment et en a donc une certaine expérience.

Nous aurions pu utiliser l'échographie pour analyser la course du diaphragme lors du travail inspiratoire. Récemment, des pneumologues se sont intéressés à l'échographie, il est ressorti qu'elle présente de nombreux avantages. [59] Il est également intéressant de signaler que le Conseil National de l'Ordre des Kinésithérapeutes a rendu le 27 Mars 2015 un avis positif sur la pratique des échoscopies par les kinésithérapeutes.

- **L'étude**

Afin d'être plus précis dans le relevé des données, il aurait été intéressant de prendre en compte le temps inspiratoire lors des inspirations maximales. Une corrélation entre le temps inspiratoire et l'Eadi aurait permis d'être plus précis sur le recrutement du diaphragme, puisque nous avons vu dans la littérature que ces techniques permettaient une augmentation du temps inspiratoire. [28]

Un biais peut également être observé dans le protocole de l'étude, lors de la séance de présentation et d'explication du spiromètre incitatif. Cette séance d'éducation a été effectuée par un thérapeute différent de celui du protocole, cela peut éventuellement présenter un biais dans l'explication donnée qui peut être légèrement différente.

- **Attitudes visant à limiter les biais**

Afin de limiter au maximum les biais, le même thérapeute a effectué toutes les mesures, les séances ont eu lieu aux mêmes heures pour tous les patients. La répartition de l'ordre des séances s'est faite grâce à un site de randomisation afin de limiter les biais liés à la fatigue si un même ordre était gardé pour tous les patients. Enfin, les mêmes consignes étaient données pour chaque patient.

De plus, toujours dans le but de minimiser les biais, une fiche de consigne propre au recueil de données (**ANNEXE IV**) a été rédigée. Cette fiche permet de suivre exactement le même protocole dans le cas où le thérapeute n'est pas disponible. Cependant, cela n'a pas eu lieu.

5.3. OUVERTURE

Il aurait également été intéressant de travailler sur plusieurs jours pour voir l'évolution des données, cependant après l'extubation la sonde naso-gastrique du système NAVA n'a plus de raison d'être maintenue.

De même, il aurait été intéressant de comparer, sur du plus long terme, les effets de la spirométrie incitative et de la ventilation dirigée sur les complications post-opératoires. Plus de littérature existe à ce sujet.

6. CONCLUSION

Grâce au matériel mis à notre disposition et au protocole effectué chez une population de 4 sujets, nous avons exploré la différence de recrutement diaphragmatique entre une séance de ventilation dirigée et une séance de spirométrie incitative.

L'étude que nous avons menée ne met en évidence aucune différence significative entre la spirométrie incitative et la ventilation dirigée. Néanmoins, en étudiant les données brutes, la spirométrie incitative présente de meilleurs résultats que la ventilation dirigée. Nous pouvons supposer que l'utilisation du spiromètre incitatif, comme adjuvant de la kinésithérapie respiratoire, apporte une amélioration du recrutement diaphragmatique grâce, notamment, à la présence du biofeedback. Une étude de plus grande envergure serait nécessaire pour valider ces résultats et observer plus précisément l'impact du biofeedback.

L'utilisation de ces résultats peut être utile dans la pratique du kinésithérapeute en réanimation dans le but d'une sollicitation des muscles inspiratoires et donc du diaphragme. Mais ces données pourraient également être utiles dans le sevrage de la ventilation mécanique. En effet, la quantification de l'activité électrique du diaphragme, associée aux valeurs de capacité vitale, de pression inspiratoire maximale et aux autres critères de sevrage, serait intéressante à prendre en compte afin de trouver une activité électrique seuil à partir de laquelle le sujet serait prêt à assurer une ventilation spontanée.

Quels seraient les résultats d'une étude comparative entre des sujets se trouvant à égale distance d'une même chirurgie ? Les résultats seraient-ils similaires en utilisant l'échographie comme outil de mesure ? L'activité électrique du diaphragme pourrait-elle être utilisée dans le cadre du sevrage de la ventilation mécanique ? Des expériences sur le long terme avec une population conséquente pourraient apporter des réponses.

A travers ce travail qui montre la problématique de l'atteinte du diaphragme en réanimation en lien avec la sédation, la chirurgie, la VM, … le kinésithérapeute possède des techniques pour contrer cette atteinte, la recherche devrait s'y intéresser afin d'étudier les stratégies les plus performantes pour le patient.

7. BIBLIOGRAPHIE

1. **BAUTIN N., PEREZ T.** Pathologie des muscles respiratoires. EMC Pneumologie, Traité de médecine AKOS, 6-0951, 2008.
2. **DUFOUR M.** Muscle diaphragme. Kinésither Rev, 2015, http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2015.09.024.
3. **DOWNEY R.** Anatomy of the normal diaphragm. Thorac Surg Clin, May 2011, vol.21, n°2, pp.273-279.
4. **ROZE H., RAUX M.** La commande diaphragmatique. Réanimation, Juillet 2014, vol.23, issue 4, pp.384-391.
5. **AYOUB J., METGE L., DAUZAT M. & al.** Cinétique diaphragmatique couplée à la spirométrie. Journal de Radiologie, Août 1997, vol.78, n°8, pp.563-568.
6. **SIMILOVSKI T., DUGUET A., PRODANOVIC H. & al.** Exploration du diaphragme en réanimation. Réanimation, 2003, vol.12, n°1, pp.6-18.
7. **CHARLOUX A., ENACHE I.** Exploration fonctionnelle des muscles respiratoires. EMC Pneumologie, 2015, vol.12, n°3, pp.1-11.
8. **DOORDUIN J., VAN HEES H. & al.** Monitoring of the respiratory muscles in the critically ill. Am J Respir Crit Care Med, 2013, vol.187, n°1, pp.20-27.
9. **DO NASCIMENTO JUNIOR P., MODOLO NSP. & al.** Incentive spirometry for prevention of postoperative pulmonary complications in upper abdominal surgery. Cochrane Database of systematic review, 2014, Issue 2, Art No.:CD006058.
10. **LUNARDI A., PAISANI D., MARQUES DA SILVA C. & al.** Comparison of lung expansion techniques on thoracoabdominal mechanics and incidence of pulmonary complications after upper abdominal surgery. Chest, 2015, vol.148, n°4, pp.1003-1010.
11. **LAURENT H., AUBRETON S., GALVAIN G. & al.** Force des muscles respiratoires après lobectomie : étude préliminaire. Kinésithérapie la revue, 2013, vol.13, n°142, pp.25-33.
12. **ROESELER J., MICHOTTE J-B., DEVROEY M. & al.** Chest physiotherapy in intensive care. Reanimation, 2007, vol.16, n°1, pp.33-41.
13. **DEMOULE A.** Dysfonction diaphragmatique en réanimation. Revue des maladies respiratoires Actualités, 2014, vol.6, pp.47-54.
14. **JUNG B., GLEETON D., DAURAT A. & al.** Conséquences de la ventilation

mécanique sur le diaphragme. Revue des maladies respiratoires, 2015, vol.32, pp.370-380.

15. **DE JONGHE B., OUTIN H., LACHERADE J-C. & al.** Conséquences respiratoires de la neuromyopathie de réanimation. Réanimation, 2008, vol.17, pp.625-630.

16. **GEORGES M.** Dysfonction diaphragmatique induite par la ventilation mécanique : physiopathologie et stratégies thérapeutiques d'avenir. Revue des maladies respiratoires Actualités, 2013, vol.7, pp.659-664.

17. **VASSILAKOPOULOS T., PETROF B.** Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. Am J Respir Crit Care Med, 2004, vol.169, pp.336-341

18. **DEMOULE A.** Dysfonction diaphragmatique induite par la ventilation mécanique. Revue des maladies respiratoires, 2004, vol.21, pp.156-157.

19. **POWERS S., WIGGS M., SOLLANEK K. & al.** Ventilator-induced diaphragm dysfunction : cause and effect. Am J physiol Regul Integr Comp Physiol, 2013, vol.305, pp.464-477.

20. **JABER S., PETROF B., JUNG B. & al.** Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. Am J Respir Crit Care Med, 2011, vol.183, pp.364-371.

21. **DANIEL MARTIN A., SMITH B., GABRIELLI A.** Mechanical ventilation, diaphragm weakness and weaning : a rehabilitation perspective. Respiratory Physiology & Neurobiology, 2013, vol.189, pp.377-383.

22. **DEMOULE A.** Dysfonction du diaphragme et des muscles locomoteurs en réanimation. Revue des maladies respiratoires Actualités, 2011, vol.3, pp.545-549.

23. **NTOUMENOPOULOS G.** Rehabilitation during mechanical ventilation : review of the recent literature. Intensive and Critical Care Nursing, 2015, vol.31, pp.125-132.

24. **GOUILLY P., CONIL P., DUBREUIL C., & al.** Modalités pratiques de réalisation de la ventilation dirigée abdomino-diaphragmatique en 2009 : propositions pour un consensus. Rev Mal Respir, 2009, vol.26, pp.537-546.

25. **LAUSIN G., GOUILLY P.** Etude des effets de la ventilation dirigée abdomino-diaphragmatique chez des patients BPCO de stade I et II. Kinésithér Rev, 2009, vol.87, pp.29-38.

26. **PEREZ BOGERD S., SELLERON B., HOTTON R. & al.** Les techniques de médecine physique peuvent-elles pallier la distension ? Rev Mal Respir, 2009, vol.26, pp.1107-1117.

27. **STILLER K.** Physiotherapy in intensive care. Chest, 2013, vol.144, n°3, pp.825-847.

28. **KOTZKI N., HAYOT M., GAUTIER V. & al.** Effets de la ventilation dirigée sur les échanges gazeux et sur la performance des muscles respiratoires chez les patients atteints de bronchopneumopathie obstructive hypercapnique ou normocapnique. Ann de Réadapt et de Med Phy, Décembre 1998, vol.41, n°6.

29. **SIU-PING CHOI J., YEE-MEN JONES A.** Effets of manual hyperinflation and suctioning on respiratory mechanics in mechanically ventilated patients with ventilator-associated pneumonia, Australia Journal of Physiotherapy, 2005, vol.51, pp.25-30.

30. **SAVIAN C., PARATZ J., DAVIES A.** Comparison of the effectiveness of manual and ventilator hyperinflation at different levels of positive end-expiratory pressure in artificially ventilated and intubated intensive care patients. Heart and lung, 2006, vol.35, n°5.

31. **ANDERSON A., ALEXANDERS J. & al.** Effets of ventilator vs manual hyperinflation in adults receiving mechanical ventilation : a systematic review of randomised clinical trial. Physiotherapy, 2015, vol.101, pp.103-110.

32. **VANDENBROUCQUE G., FAUSSER C. & al.** Enquête sur les techniques utilisées par les kinésithérapeutes exerçant en réanimation adulte et pédiatrique. Ann Kinésithér, 1999, vol.26, n°5, pp.203-208.

33. **PASQUINA P., TRAMER M. & al.** Respiratory physiotherapy to prevent pulmonary complications after abdominal surgery. Chest, 2006, vol.130, pp.1887-1899.

34. **POSTIAUX G.** Kinésithérapie et pathologie du poumon profond. Rev Mal Respir, 2000, vol.17,pp.1S315-1S318.

35. **VUILLEUMIER F., MICHOTTE J-B., ROESELER J.** Kinésithérapie post-opératoire en chirurgie abdominale. Kinésithér Rev, 2008, vol.84, pp.20-8.

36. **ANTONELLO M., DELPLANQUE D., SELLERON B.** Kinésithérapie Respiratoire : démarche diagnostique, techniques d'évaluation, techniques kinésithérapiques. EMC, 2003, 24p.

37. **KOTANI T., AKAZAWA T., SAKUMA T. & al.** Effets of incentive spirometry on respiratory motion in healthy subjects using cine breathing magnetic resonance imaging. Ann Rehabil Med, 2015, vol.39, n°3, pp.360-365.

38. **FREYNET A., FALCOZ P-E.** Kinésithérapie basée sur les preuves en chirurgie thoracique après résection pulmonaire par thoracotomie. Kinésithér Rev, 2011, vol.111, pp.34-44.

39. **NUNES PAIVA D., BENDER ASSMAN L. & al.** Inspiratory muscle training with threshold or incentive spirometry : which is the most effective ? Rev Port Pneumol, 2015, vol.21, n°2, pp.76-81.

40. **TOURETTE TURGIS C.** L'éducation thérapeutique du patient : la maladie comme occasion d'apprentissage. Médecine & Droit, 2015, pp.77-78.

41. **GAGNAYRE R.** L'éducation thérapeutique et les compétences du patient. Ann Dermatol Venereol, 2002, vol.129, pp.985-989.

42. **IGUENANE J.** Education thérapeutique du patient : vers une démarche raisonnée. Rev Mal Respir, 2005, vol.22, pp.539-540.

43. **CREPON F., DARLAS Y.** Electrothérapie. Ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et « biofeedback ». EMC, Kinésithérapie-Médecine physique-réadaptation, 2008, vol.4, n°2, pp.1-14.

44. **ROUGIER P., BOUDRAHEM S.** Interaction entre l'asymétrie posturale et les effets induits par la technique de feedback visuel chez des sujets sains. Neurophysiologie clinique, Décembre 2012, vol.42, n°6, pp.415.

45. **CHIARONI G., WHITEHEAD WE. & al.** Biofeedback is superior to laxatives for normal transit constipation due to pelvic floor dyssynergia. Gastroenterology, 2006, vol.130, pp.657-664.

46. **MICOULAUD-FRANCHI J-A., LANTEAUME L. & al.** Biofeedback et épilepsie pharmacorésistante : le retour d'une thérapeutique ancienne ? Revue neurologique, 2014, vol.170, pp.187-196.

47. **JUBERT L.** L’entrainement des muscles inspiratoires en pratique. Kinesither Rev, 2011, vol.117, pp.26-28.

48. **DELGUSTE P.** Peut-on entrainer les muscles respiratoires ? Ann Kinésithér, 2001, vol.28, n°6, pp.255-259.

49. **MUCCI P., LESAIGNOUX Y.** Entrainement des muscles inspiratoires et vitesse critique. Science & Sports, 2008, vol.23, pp.255-25.

50. **VERGES S.** Les muscles respiratoires chez le sujet sain et le patient : nécessitent-ils un entrainement spécifique ? Profession kinésithérapeute, 2007, vol.16, pp.19-24.

51. **XIAO Y., LUO M. & al.** Inspiratory muscle training for the recovery of function after stroke. Cochrane Database of Systematic reviews, 2012, Issue 5, Art. No.:CD009360.

52. **CARLUCCI A., CERIANA P., PRINIANAKIS G. & al.** Determinants of weaning success in patients with prolonged mechanical ventilation. Critical care, 2009, vol.13, R97

53. **ELKINS M., DENTICE R.** Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in intensive care unit : a systematic review. Journal of Physiotherapy, 2015, vol.51, pp.125-134.

54. **PEREZ T.** Entrainement des muscles inspiratoires. Rev Mal Respir, 2005, vol.22, pp.521-522.

55. **BAVARSAD M. & al.** The effect of home-based inspiratory muscle training on exercise capacity, exertional dyspnea and pulmonary function in COPD patient. Iranian Journal of Nursing and Midwifery Research, 2015, vol.20, Issue 5, pp.613-618.

56. **ROSON J., TOURNIER F.** Introduction à la Neurally Adjusted Ventilatory Assist (NAVA). KS, Avril 2010, vol.509, pp.51-53.

57. **PIQUILLOUD L., JOLLIET P., TASSAUX D.** Le « Neurally Adjusted Ventilatory Assist » : vers une révolution de la ventilation mécanique ? Rev Med Suisse, 2010, vol.6, pp.2416-2420.

58. **THILLE AW., RODRIGUEZ P., CABELLO B. & al.** Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. Intensive Care Med, 2006 n°32, pp.1515-1522.

59. **RICHARD PH.** Apport de l'échographie dans l'exploration du diaphragme. Revue des maladies respiratoires, Janvier 2015, vol.32, n°S, pp.A23.

Sources internet :

www.maquet.com/fr/products/servo-i
www.spirometry.com
www.srlf.org
www.mediflux.com

Image de la page de garde :

www.lessentiel-anesthesie-reanimation.fr

ANNEXES

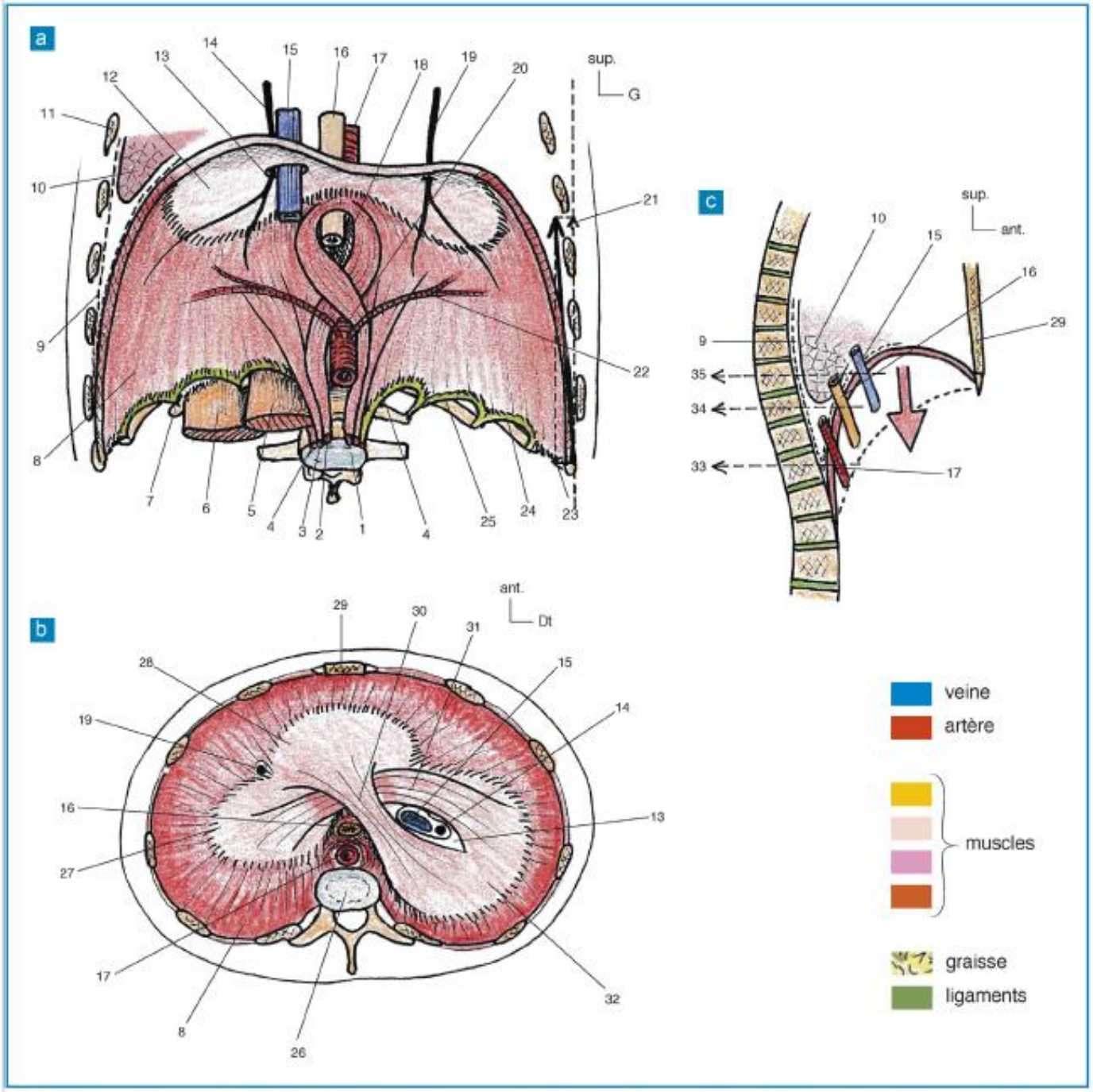


Figure 1. **Muscle diaphragme**. **1** : Vertèbre L2 ; **2** : Pilier principal droit ; **3** : Pilier accessoire droit ; **4** : Arcade médiale (du psoas) ; **5** : Muscle psoas ; **6** : Muscle carré des lombes ; **7** : 12e côte ; **8** : Muscle diaphragme ; **9** : Plèvre ; **10** : Poumon droit ; **11** : 5e côte ; **12** : Centre phrénique ; **13** : Foramen de la veine cave ; **14** : Nerf phrénique droit ; **15** : Veine cave (VCI) ; **16** : Œsophage ; **17** : Artère aorte ; **18** : Hiatus œsophagien ; **19** : Nerf phrénique gauche ; **20** : Hiatus aortique ; **21** : Composante élévatrice du diaphragme ; **22** : Artère phrénique gauche ; **23** : Composante de rapprochement costal du diaphragme ; **24** : Arcade latérale ; **25** : Arcade intermédiaire (du carré des lombes) ; **26** : Colonne vertébrale ; **27** : Foliole gauche ; **28** : Foliole antérieure ou ventrale ; **29** : Sternum ; **30** : Bande fibreuse semi-circulaire crâniale ; **31** : Bande fibreuse semi-circulaire caudale ; **32** : Foliole droite ; **33** : T12 ; **34** : T10 : **35** : T9.

ANNEXE I : *Muscle diaphragme, coupe frontale (a), coupe supérieure (b), coupe sagittale (c)*

ANNEXE II : *Ventilateur de réanimation Servo-i MAQUET®*

Score neuromusculaire MRC

	D	G
Abduction du bras		
Flexion de l'avant-bras		
Extension du poignet		
Flexion de cuisse		
Extension de la jambe		
Flexion dorsale du pied		

Score attribué à chaque groupe
0 = absence de contraction visible
1 = contraction visible sans mouvement du membre
2 = mouvement insuffisant pour vaincre la pesanteur
3 = mouvement permettant de vaincre la pesanteur
4 = mouvement contre la pesanteur et contre résistance
5 = force musculaire normale

ANNEXE III : *Score MRC (Medical Research Council)*

RECUEIL DE DONNEES

Le patient est en position semi-assise dans les deux types de séances.

Lors de la séance manuelle, le thérapeute va effectuer une ventilation dirigée avec des pressions thoraciques et abdominales pour solliciter l'inspiration maximale à débit maximal associé à la consigne suivante : « Vous allez d'abord souffler pour vider vos poumons au maximum, puis vous gonflez vite et fort les poumons sous mes mains. »

Pour la séance de spirométrie, il y aura eu au préalable une séance d'apprentissage du spiromètre incitatif inspiratoire type Voldyne®. L'apprentissage se fait à travers une présentation du spiromètre ainsi que de sa fonction accompagné d'une éducation du patient.

Lors de la séance, le thérapeute va effectuer un accompagnement de la respiration avec les mêmes pressions thoraciques et abdominales que lors de la séance manuelle associé à la consigne suivante : « Vous allez serrer les lèvres autour de l'embout buccal, vous commencez par vider complètement vos poumons puis vous inspirez vite et fort dans l'embout buccal pour faire monter le palet le plus haut possible. »

Nous relevons la saturation ainsi que l'oxygénation présentes durant la séance.

Nous allons relever l'Eadi de repos, ainsi que les Eadi max à chaque inspiration maximale. Entre chaque inspiration maximale, nous attendrons 10 cycles respiratoires afin que le patient revienne à un Eadi proche du repos.

ANNEXE IV : *Fiche protocolaire de recueil de données*