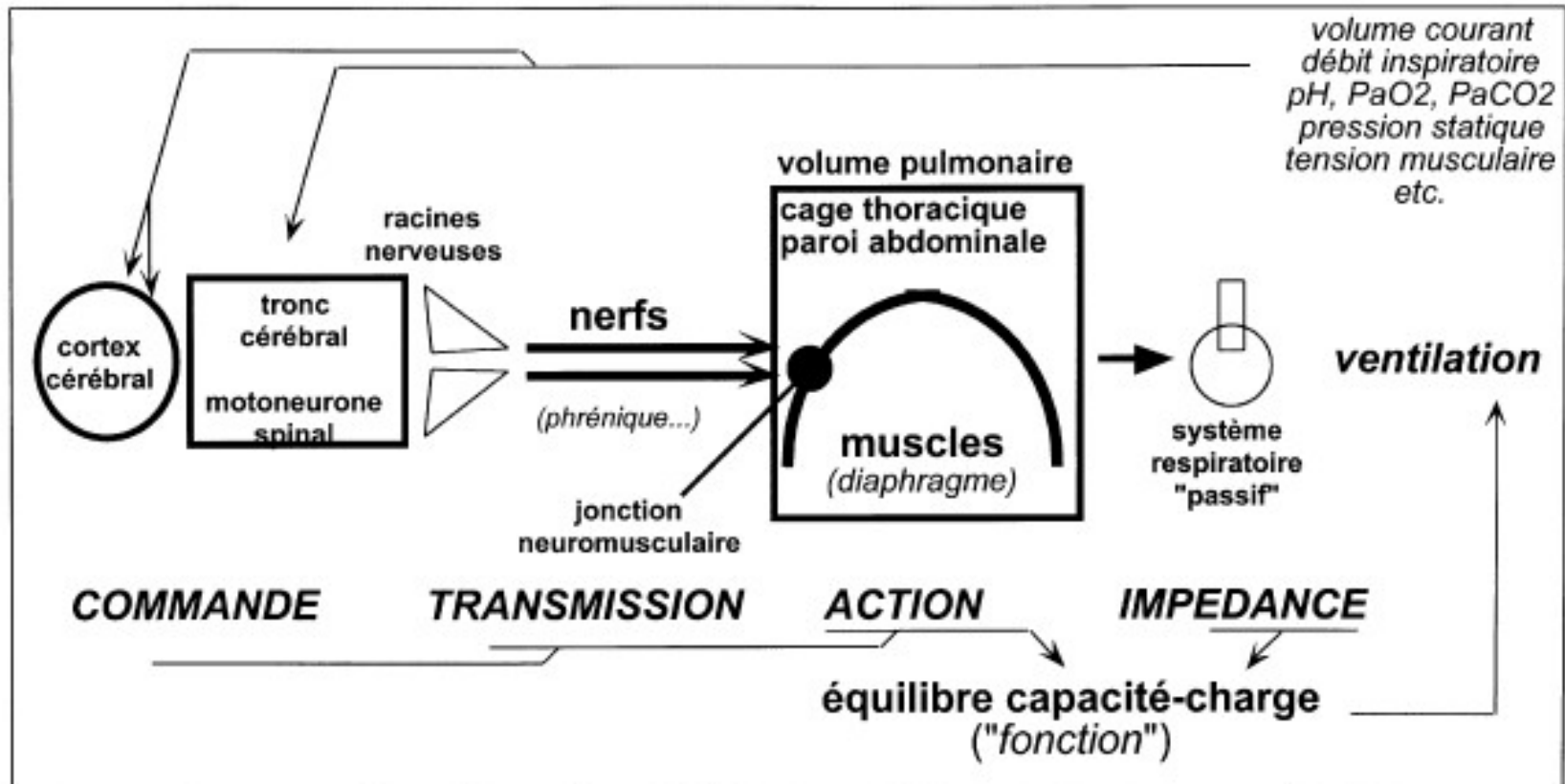


Comment rééduquer le diaphragme?

Marc Beaumont, kinésithérapeute



Mécanismes de la dysfonction musculaire respiratoire





Mécanismes de la dysfonction musculaire respiratoire

= Déséquilibre entre «charge» globale (demande ventilatoire métabolique, impédance mécanique du système respiratoire) et «capacité neuromusculaire» (incluant fatigue, faiblesse musculaire)

• Identiques à ceux des muscles périphériques :

- Troubles hématose
- Dénutrition
- Age
- Inactivité
- Médicaments (corticostéroïdes...)
- Ventilation mécanique

• Différents de ceux des muscles périphériques :

- Déformation de la paroi de la cage thoracique



Mécanismes de la dysfonction musculaire respiratoire

- Troubles de l'hématose :
 - Hypoxémie aiguë => dégâts sévères des fibres des muscles respiratoires en quelques heures
(Simpson JA, van Eyk JE, Iscoe S. J Appl Physiol 2000;88:753-60.)
 - Hypoxémie chronique => rôle dans la diminution de l'activité physique, mais adaptation du diaphragme
 - Hypercapnie, liée à faiblesse des muscles inspi
(Begin P., Grassino A. Am Rev Respir Dis 1991 ; 143 : 905-912)
- Dénutrition, âge, inactivité : associée à faiblesse muscles inspi
(Gray-Donald K et al. Am J Respir Crit Care Med 1996 ; 153 : 961-966)
- Inflammation systémique : controversé...sans doute plus liée à inflammation locale
(Pinet C, RMR 2006;23(5):15-19 ; Caron et al. RMR 2011;28(10):1250-64)



Mécanismes de la dysfonction musculaire respiratoire

- Hyperinflation et déformation de la paroi de la cage thoracique => raccourcissement des fibres et relation T/L sous optimale, expliquant la faiblesse du diaphragme

(Similowski T et al. N Engl J Med 1991 ; 325 : 917-923)

- Ventilation => altération de la force du diaphragme

(Vassilakopoulos T. Intensive Care Med 2008;34:7—16 --- Jubran A. et al. Respir Care 2006;51:1054—61 --- Sassoan CS et al. Am J Respir Crit Care Med. 2004;170(6):626-32 --- Powers SK et al. J Appl Physiol (1985). 2002;92(5):1851-8.)

Mécanismes de la dysfonction musculaire respiratoire

Intensive Care Med (2008) 34:7–16
DOI 10.1007/s00134-007-0866-x

REVIEW

Theodoros Vassilakopoulos

Ventilator-induced diaphragm dysfunction: the clinical relevance of animal models

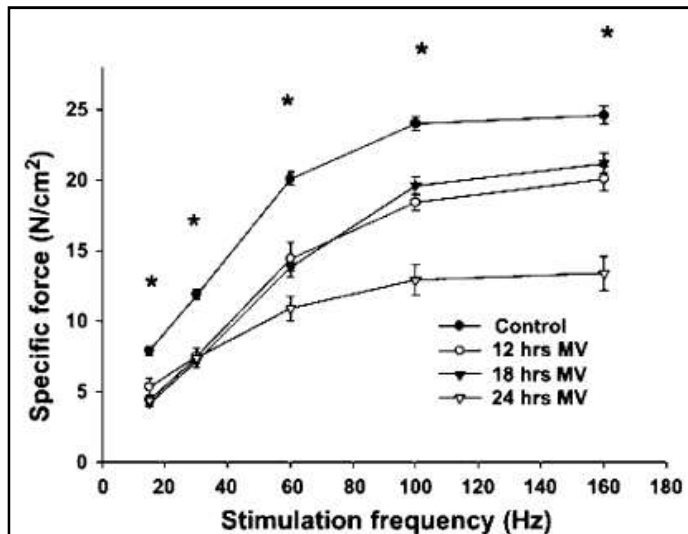


Fig. 2 Effects of prolonged CMV on the diaphragmatic force-frequency response in vitro in rats. Values are means \pm SE. Compared with control, CMV (all durations) resulted in a significant ($*p < 0.05$) reduction in diaphragmatic specific force production at all stimulation frequencies. From reference [8] with permission. Please note that the decline in force is progressive, worsening as the duration of CMV is prolonged

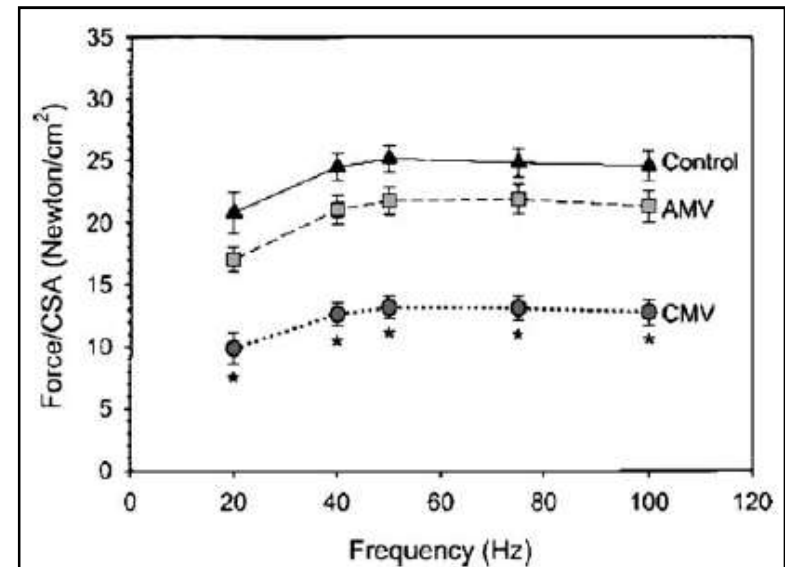


Fig. 5 Diaphragmatic tetanic force at various stimulation frequencies in control circumstances, assisted mechanical ventilation (AMV), and controlled mechanical ventilation (CMV) in rats. Values are mean \pm SE. $*p < 0.01$, CMV versus control and AMV. CSA, cross-sectional area. From reference [26] with permission

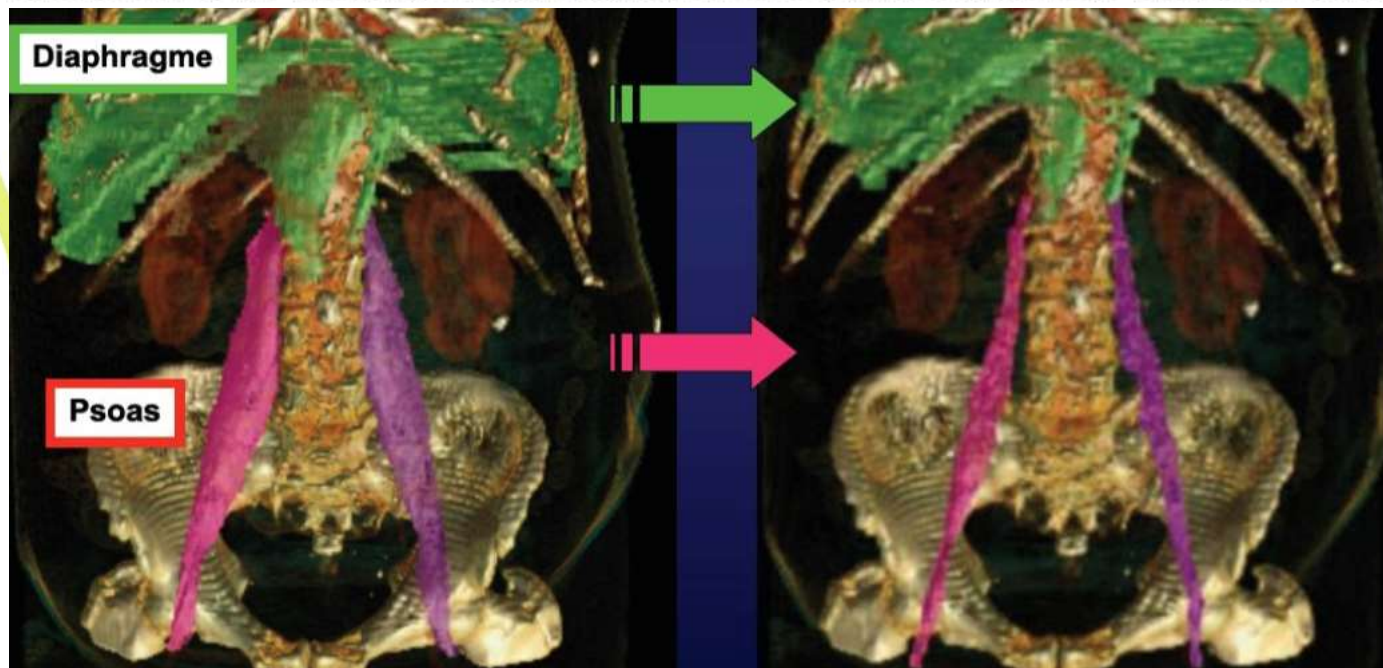
Mécanismes de la dysfonction musculaire respiratoire

Sepsis Is Associated with a Preferential Diaphragmatic Atrophy

A Critically Ill Patient Study Using Tridimensional Computed Tomography

(ANESTHESIOLOGY 2014; 120:1182-91)

Boris Jung, M.D., Ph.D., Stephanie Nougaret, M.D., M.Sc., Matthieu Conseil, M.D., M.Sc., Yannaël Coisel, M.D., M.Sc., Emmanuel Futier, M.D., Ph.D., Gerald Chanques, M.D., Ph.D., Nicolas Molinari, Ph.D., Alain Lacampagne, Ph.D., Stefan Matecki, M.D., Ph.D., Samir Jaber, M.D., Ph.D.





L'influence des dysfonctions musculaires

La faiblesse des muscles inspireurs est associée à :

- Dyspnée
- Insuffisance respiratoire hypercapnique
- Mort prématurée
- Sevrage de VM difficile

Parshall et al. Am J Respir Crit Care Med. 2012;185(4):435-52

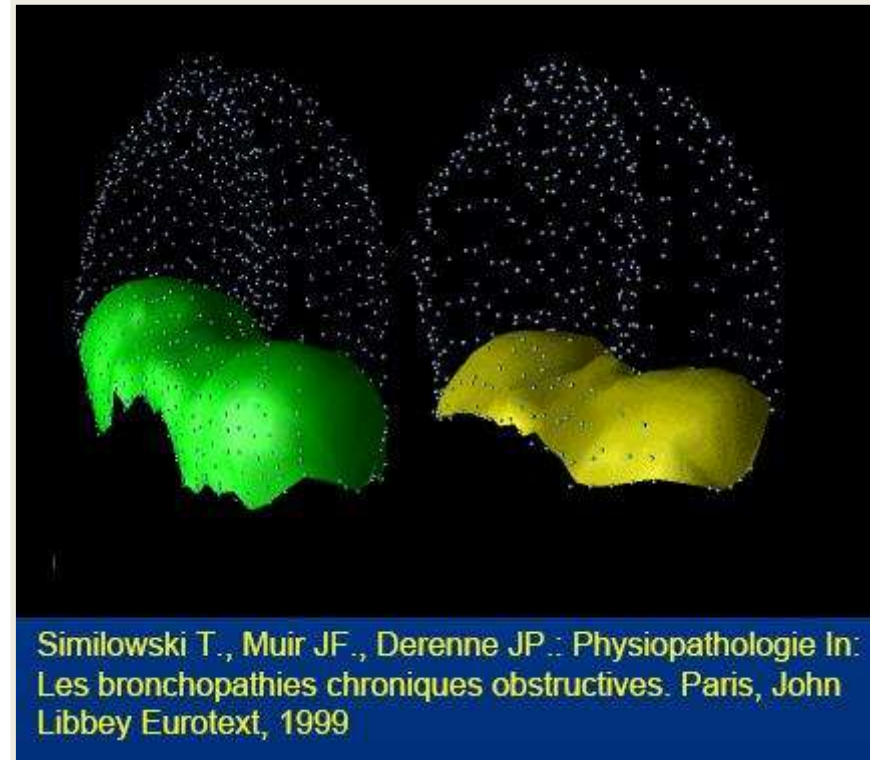
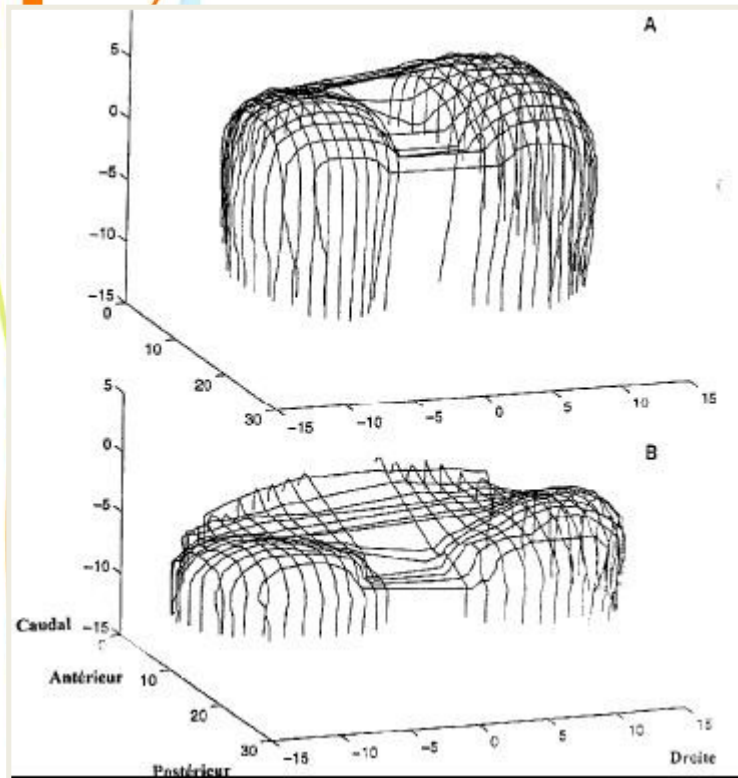
Begin P, Grassino A. Am Rev Respir Dis 1991 ;143 : 905-912

Yamaguti et al. J Bras Pneumol. 2009;35(12):1174-1181

Gray-Donald K et al. Am J Respir Crit Care Med 1996 ;153 : 961-966

Petrof BJ, Jaber S, Matecki S. Curr Opin Crit Care. 2010;16(1):19-25

Le diaphragme dans la BPCO



Similowski T., Muir JF., Derenne JP.: Physiopathologie In: Les bronchopathies chroniques obstructives. Paris, John Libbey Eurotext, 1999

- Coupes diaphragmatiques abaissées et aplaties : action respiratoire réduite
- Raccourcissement de 27%, dû à la distension
(Cassart 1999. *AMJRCCM*;156:504-8)
- Insuffisance fonctionnelle en terme de générateur de pression

Le diaphragme dans la BPCO

Loi de Laplace :

l'efficacité mécanique est inversement proportionnelle au rayon de courbure

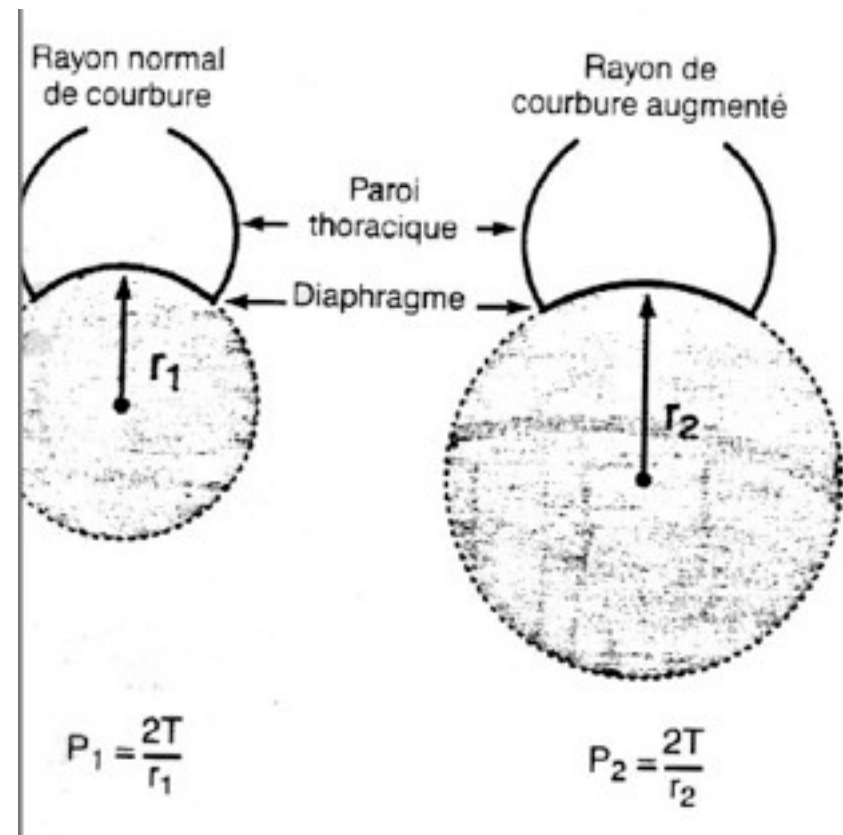
=>le diaphragme génère d'autant plus de force que son rayon est petit

$$p = 2T/r$$

p pression générée par le diaphragme

T tension musculaire

r rayon de courbure





Le diaphragme dans la BPCO

Mais

- Perte d'un % de sarcomères => \downarrow longueur sarcomères qui permet une diminution de l'altération du rapport tension /longueur
=> Pression Inspiratoire plus efficace



Le diaphragme dans la BPCO

- Le diaphragme présente une adaptation cellulaire à la surcharge de travail imposée par l'obstruction bronchique chronique
- Particularités du diaphragme / muscles squelettiques :
 - Augmentation du nombre de fibres type I
 - Majoration des capacités aérobies (augmentation de la capillarisation et du nombre de mitochondries)
 - Baisse de 40-60% de la surface transversale (ttes fibres)
 - Baisse de 30% de la teneur en chaîne lourde de myosine (Force liée à nb de ponts actine-myosine)

Wijnhoven et al. Respiratory Medicine 2006; 100: 1064-1071

Orozco-Levi M. Eur Respir J Suppl 2003 ; 46 : 41s-51s

Levine S et al. N Engl J Med 1997 ; 337 : 1799-806.

Doucet M et al. Eur Respir J 2004 ; 24 : 971-979

Ottenheijm et al.. Am J Respir Crit Care Med 2007;175(12):1233-40

Entraînement des muscles inspirateurs et les recommandations

A clinical practice guideline for physiotherapists treating patients with chronic obstructive pulmonary disease based on a systematic review of available evidence

D. Langer, EJM Hendriks, C. Burtin, V. Probst, CP van der Schans, WJ Paterson, MCE Verhoef-de Wijk, RVM Straver, M. Klaassen, T. Troosters, M. Decramer, V. Ninane, P. Delguste, J. Muris and R. Gosselink

Clin Rehabil 2009 23: 445 originally published online 23 April 2009

DOI: 10.1177/0269215509103507

The online version of this article can be found at:

<http://cre.sagepub.com/content/23/5/445>

- Il est recommandé de réaliser EMI chez des patients qui
 - se plaignent de dyspnée
 - ne peuvent suivre un programme de réentraînement à l'effort global
- Le candidat idéal : force muscles inspi réduite et dyspnée

Entraînement des muscles inspirateurs et les recommandations

An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Key Concepts and Advances in Pulmonary Rehabilitation

THIS OFFICIAL STATEMENT OF THE AMERICAN THORACIC SOCIETY (ATS) AND THE EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY (ERS) WAS APPROVED BY THE ATS BOARD OF DIRECTORS, JUNE 2013, AND BY THE ERS SCIENTIFIC AND EXECUTIVE COMMITTEES IN JANUARY 2013 AND FEBRUARY 2013, RESPECTIVELY

- Il est démontré que l'EMI utilisé isolément apporte des bénéfices (capacité à l'exercice, dyspnée...)
- Ajouté à un pg de RE son bénéfice supplémentaire manque de preuve dans certains domaines (dyspnée...)
- Il est pertinent de l'ajouter à un pg de RE global si faiblesse des muscles inspi ou si le patient ne peut réaliser RE sur vélo ou tapis.
- Nécessité d'études prospectives pour améliorer niveau de preuve

Entraînement des muscles inspirateurs et les recommandations

Points clés

- Dans un stage de réentraînement musculaire, il est recommandé d'inclure un réentraînement des muscles inspiratoires chez les patients présentant une diminution objective de la force des muscles respiratoires (G1+).
- Il est proposé de réaliser un entraînement contre résistance à au moins 30 % de la pression inspiratoire maximale et d'utiliser les systèmes de type « à seuil » (G2+).

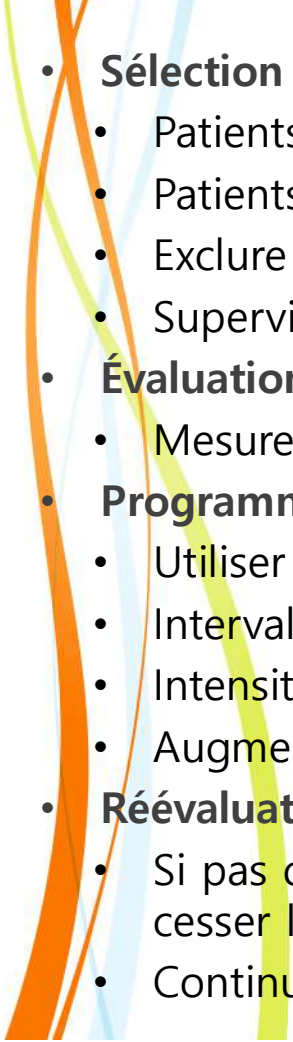


Recommandations pratiques

Inspiratory Muscle Training for Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Practical Guide for Clinicians

Kylie Hill, PhD, Nola M. Cecins, MSc, Peter R. Eastwood, PhD, Sue C. Jenkins, PhD

Arch Phys Med Rehabil Vol 91, September 2010

- 
- **Sélection des patients et sécurité**
 - Patients qui ne peuvent suivre un programme global
 - Patients qui suivent un programme qui améliore peu sa dyspnée ou capacité à l'exercice
 - Exclure patients avec risque de pneumothorax spontané ou fracture de côte spontanée
 - Superviser les premières séances
 - **Évaluation**
 - Mesure PI max, dyspnée, QdV
 - **Programme**
 - Utiliser un appareil avec valve à seuil
 - Interval training , 3 fois/s, pendant 8 semaines
 - Intensité initiale > 30% PI max
 - Augmenter l'intensité en fonction du ressenti du patient
 - **Réévaluation et maintien des acquis**
 - Si pas de changement au bout de 8 semaines en terme de dyspnée, CE, QdV, cesser l'EMI
 - Continuer 2 fois /s pour maintien acquis




L'entraînement des muscles inspirateurs en réanimation

Place de la kinésithérapie précoce dans la prise en charge des neuromyopathies acquises en réanimation

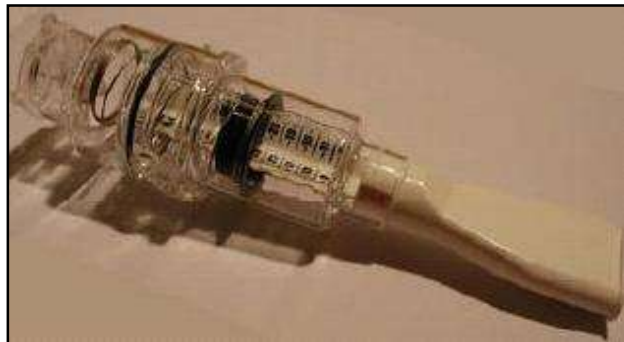
Réanimation (2009) 18, 649–653

M. Lemaire

- 
- L'EMI est préconisé chez le patient présentant une atrophie de « non utilisation » du diaphragme en l'absence de dysfonctions neurologiques.
 - En revanche, si le patient souffre d'une neuropathie, EMI s'avère être inutile jusqu'à réinnervation complète.
 - Le réentraînement doit être réalisé à **intensité modérée**

L'entraînement spécifique des muscles inspireurs

- Le Threshold IMT[®] (de 7 à 41 cm H₂O)
- Le Powerbreathe[®] Medic (de 10 à 90 cm H₂O)
 - Appareils à valve
 - 30 à 60 % de la PI max, pendant 30 ' par jour (en 2 fois)
 - Dans le cadre d'un programme de réhabilitation respiratoire ou non
 - Supervisé par un kiné



L'entraînement spécifique des muscles inspireurs

Le Spirotiger[®]

- Appareil de renforcement en endurance
- 30 ' par jour (en 2 fois)
- Dans le cadre d'un programme de réhabilitation respiratoire ou non
- Supervisé par un kiné



- 1** La valve utilisée dans l'élément manuel et le ballon respiratoire permettent d'éviter les risques d'hyperventilation et de vertige dans les conditions normales d'utilisation.
- 2** Les données d'entraînement sont introduites dans la station de base et servent au contrôle de la fréquence et de la profondeur de la respiration.
- 3** La fréquence respiratoire est donnée par des voyants défilants et des bips sonores courts.
- 4** L'écran de visualisation affiche des indications telles que: "respirez plus vite", pour guider l'entraînement.
- 5** Si les performances sont très différentes des paramètres d'entraînement idéaux, le SpiroTiger[®] déclenche une alarme lumineuse et sonore.
- 6** Les données relevées pendant l'entraînement sont transmises au poste de base au moyen d'un câble, pour être enregistrées.





Quel mode de réentraînement pour quelle pathologie?

DIFFERENCIER MODE DE RENFORCEMENT
EN FORCE OU ENDURANCE
SELON PATHOLOGIE ET EVALUATION DE DEPART

- Obèses : plutôt endurance
- BPCO ou hyperinflation dynamique : plutôt force
- Réa : plutôt faible intensité dans un premier temps

Les effets de l'entraînement des muscles inspirateurs

Eur Respir J 2011; 37: 416–425
DOI: 10.1183/09031936.00031810
Copyright©ERS 2011



REVIEW

Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence?

**R. Gosselink^{*,#}, J. De Vos^{*,#}, S.P. van den Heuvel[†], J. Segers^{*,#},
M. Decramer^{*,#} and G. Kwakkel⁺**

- Evaluer EMI : force et endurance muscles inspi, dyspnée, TM6 ou 12, qualité de vie
- EMI en force ($\geq 30\%$ Pimax) et/ou endurance
- 32 essais contrôlés randomisés, toutes langues

Les effets de l'entraînement des muscles inspireurs

TABLE 1 Overall results of the meta-analysis

Outcome measures	Subjects n	Q-statistic	I ²	SES	95% CI	p-value (z-statistic)	Natural units
<i>P</i>_{I,max}	32	57.8	46	0.73	0.53–0.93	0.001	+13 cmH ₂ O
RMET	14	47.3	73	1.05	0.62–1.49	0.001	+261 s
ITL	11	16.8	3	0.98	0.72–1.25	0.001	+13 cmH ₂ O
MVV	4	1.2	0	0.23	-0.27–0.72	0.373	+3 L·min ⁻¹
Functional exercise capacity	22	14.3	0	0.28	0.12–0.44	0.001	6MWD: +32 m 12MWD: +85 m
Endurance exercise capacity	3	4.6	57	0.72	-0.12–1.55	0.087	+198 s
<i>V</i> _{O_{2,max}} L·min ⁻¹	9	6.0	0	-0.13	-0.38–0.11	0.293	-0.04 L·min ⁻¹
<i>V</i> _{O_{2,max}} mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹	5	5.0	20	0.3	-0.02–0.63	0.067	+1.3 mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹
<i>V</i> _{E,max}	9	5.5	0	-0.04	-0.3–0.2	0.696	-0.7 L·min ⁻¹
<i>W</i> _{max}	10	5.1	0	0.07	-0.16–0.3	0.562	+1.7 W
Dyspnoea Borg score	14	15.6	17	-0.45	-0.66– -0.24	0.001	-0.9
Dyspnoea TDI	4	6.3	52	1.58	0.86–2.3	0.001	+2.8
Dyspnoea CRQ-Dyspnoea	9	16.6	52	0.34	-0.03–0.71	0.068	+1.1
Quality of life CRQ	9	10.4	20	0.34	0.09–0.60	0.007	+3.8
CRQ fatigue	10	8.2	0	0.27	0.03–0.50	0.024	+0.9
CRQ emotion	10	7.6	0	0.19	-0.04–0.42	0.107	+0.5
CRQ mastery	10	8.5	0	0.09	-0.14–0.33	0.432	-0.005

n=32. SES: summary effect size; *P*_{I,max}: maximal inspiratory pressure; RMET: respiratory muscle endurance test; ITL: incremental threshold loading; MVV: maximal voluntary ventilation; *V*_{O_{2,max}}: maximal oxygen uptake; *V*_{E,max}: maximal minute ventilation; *W*_{max}: maximal power output; TDI: transition dyspnoea index; CRQ: chronic respiratory questionnaire.

Les effets de l'entraînement des muscles inspireurs

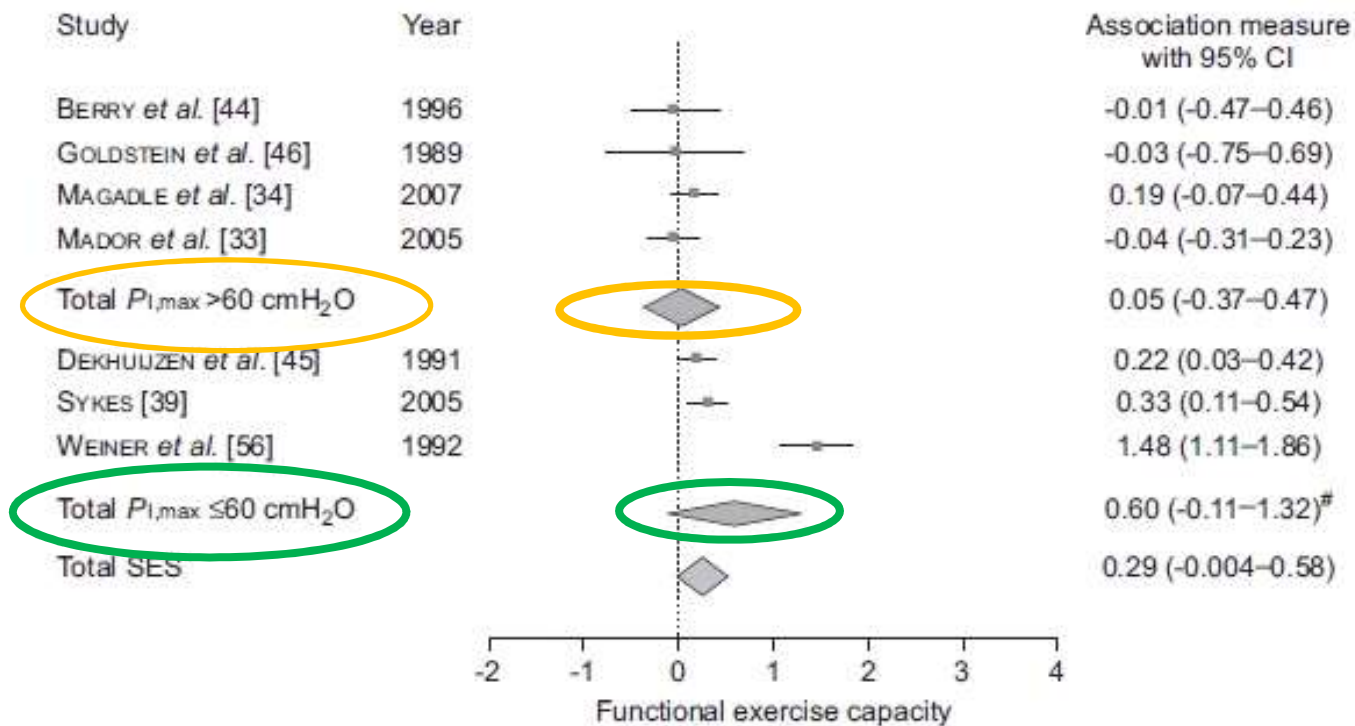


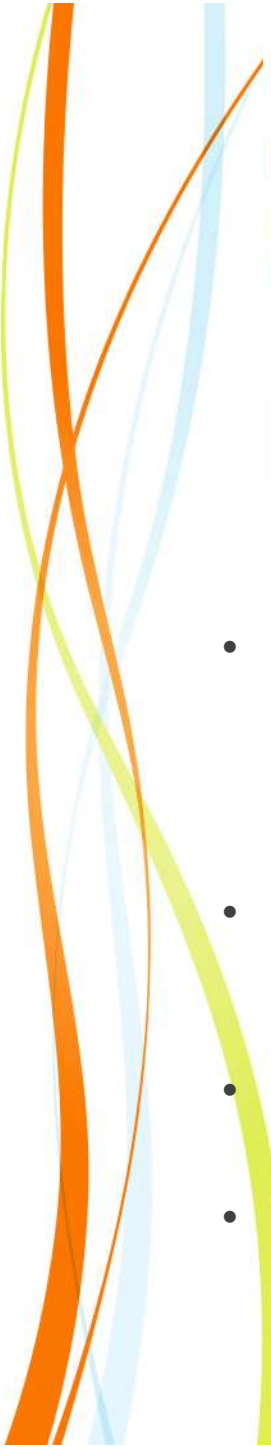
FIGURE 4. Effect of general exercise reconditioning (GER) plus inspiratory muscle training versus GER alone on functional exercise performance. $P_{I,max}$: maximal inspiratory pressure. [#]: result from random effects model.



Les effets de l'entraînement des muscles inspirateurs

Sur la dyspnée :

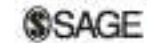
- Si associé à un programme de réhabilitation respiratoire, pas d'effet supplémentaire démontré
- Mais manque de données
- Il est vraisemblable de penser que EMI pourrait apporter bénéfices (davantage pour patients avec faiblesse muscles inspi)



Inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: A randomized trial

M Beaumont¹, P Mialon², C Le Ber-Moy¹, C Lochon¹,
L Péran¹, R Pichon¹, C Gut-Gobert³, C Leroyer³,
C Morelot-Panzini⁴ and F Couturaud³

Chronic Respiratory Disease
1-8
© The Author(s) 2015
Reprints and permission:
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/1479972315594625
crds.sagepub.com



- Etude randomisée contrôlée prospective incluant 34 patients BPCO, avec PI max > 60cm H₂O
 - Groupe EMI : rehab + EMI
 - Groupe contrôle : rehab seule
- Objectif principal : Amélioration de la dyspnée pour patients avec EMI, objectivée par questionnaire MDP (Multidimensional Dyspnea Profile) (*Banzett AJRCCM 2008*)
- Pas de différence significative de la diminution de la dyspnée entre les 2 groupes
- Analyse en sous groupe (patients avec VEMS < 50%) montre que les patients les plus sévèrement atteints tirent bénéfice de l'entraînement des muscles inspirateurs en terme d'amélioration de la dyspnée



L'entraînement des muscles inspirateurs en réanimation

- L'EMI diminue le temps de sevrage mécanique
(Cader et al. J Physiother. 2010;56(3):171-7 – Bissett et al. Anaesth Intensive Care. 2007;35(5):776-9)
- L'EMI diminue le temps de VNI après le sevrage
(Cader et al. Clinical Interventions in Aging 2012;7 437-443)
- Protocole en cours pour édition revue Cochrane pour évaluer bénéfiques ou non de l'EMI, sur la durée de la ventilation mécanique et la durée de séjour
(Bezzera et al.)

Inspiratory muscle training is used in some intensive care units, but many training methods have uncertain efficacy: a survey of French physiotherapists

Tristan Bonnevie^{a,b,c}, Jean-Christophe Villiot-Danger^d, Francis-Edouard Gravier^{a,e},
Johan Dupuis^f, Guillaume Prieur^{c,g}, Clément Médrinal^{c,g} Journal of Physiotherapy 61 (2015) 204–209

- Objectif : faire un état des lieux de la réalisation de l'EMI en réa (comment est-il réalisé, qui en bénéficie, les méthodes de renforcement, l'évaluation)
- 265 réponses
- Résultats:
 - Utilisation EMI lié à l'expérience du kiné
 - Utilisé de façon systématique ou pour patient avec échec de sevrage
 - Tech utilisée :
 - respi diaphragmatique (83%), respi ample, spiro incitative
 - 13% utilise méthode prouvée scientifiquement (Trigger, appareil à valve)
 - Pour ceux qui utilise EMI, 16% évalue Pimax, 2% utilisent méthode prouvée et tech recommandée pour évaluation de la force des muscles inspi



L'entraînement des muscles inspirateurs avant chirurgie thoraco abdominale

- L'EMI en pré-opératoire diminue les complications pulmonaires post-opératoires
(Hulzebos et al. JAMA. 2006;296:1851-1857)
- L'EMI en pré-opératoire améliore la force des muscles inspirateurs et la préserve en post-opératoire
(Kulkarni et al. Ann R Coll Surg Engl 2010; 92: 700–705)



L'entraînement des muscles inspirateurs chez des patients obèses

- L'EMI améliore la PI max et la capacité à l'exercice, tech intéressante pour démarrer un réentraînement à l'exercice
(Edwards et al. *Journal of Obesity* 2012)
- L'EMI améliore la capacité à l'exercice et la dyspnée dans le cadre d'un programme d'activité physique et d'amaigrissement
(Villiot Danger et al. *Int J Obes (Lond)*. 2011;35(5):692-9)

Le réentraînement à l'exercice

International Journal of COPD

Dovepress

open access to scientific and medical research

 Open Access Full Text Article

ORIGINAL RESEARCH

Analysis of diaphragmatic movement before and after pulmonary rehabilitation using fluoroscopy imaging in patients with COPD

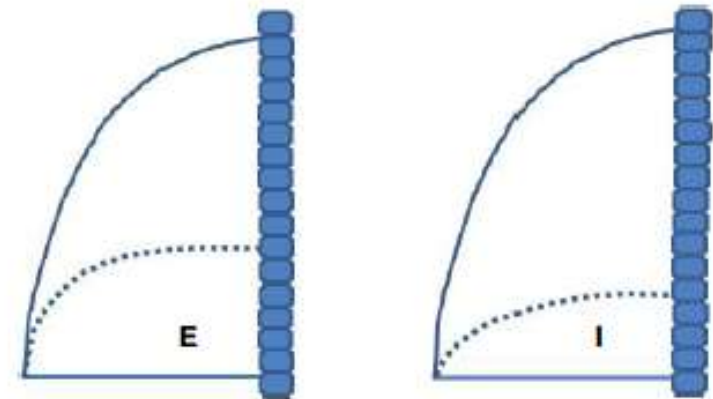
Eun Mi Chun¹

Soo Jeong Han²

Hitesh N Modi³

- Objectif : évaluer l'évolution des mouvements du diaphragme après un pg de RR
- 117 patients atteints de BPCO en RR
- 37 patients inclus : âge : $65,2 \pm 10,1$; VEMS : $50,1 \pm 19,5$ % théo
- 80 n'ont pas fini le pg d'au moins 3 mois
- Programme de $6,7 \pm 2,8$ mois, au moins 30 ' de RE par jour

Critère de jugement : aire entre inspi max et expi max (sur RX)



Diaphragmatic moving area = expiratory area – inspiratory area (E-I)

Résultats :

Table 4 Changes of diaphragmatic area between expiratory–inspiratory diaphragm motion with fluoroscopy in patients with chronic obstructive pulmonary disease (n=37)

	Prepulmonary rehabilitation	Postpulmonary rehabilitation	P-value*
Right (mm ²)	2,022.8±1,548.3	3,010.7±1,495.6	0.001
Left (mm ²)	2,382.4±1,475.9	3,315.9±1,883.5	0.019

Notes: Values are expressed as mean ± standard deviation. Significant difference between pre- and postpulmonary rehabilitation: *P<0.05 (paired t-test).



Les exercices respiratoires

- Privilégier ventilation lente et ample pour favoriser un travail des muscles inspirateurs (associée à expiration passive)
- En cas de distension, éviter +++ l'expi active au repos pour limiter la compression alvéolaire
- Plutôt favoriser lèvres pincées mais niveau de preuve faible
- Spirométrie incitative peut être intéressant comme feedback mais niveau de preuve faible

Sergysels R. Rev mal respir 2009;26:495-497

Spruit et al. Am J respir Crit Care Med 2103; 188(8): e13-e64

Holland AE. J of Physiotherapy 2014; 60:181-188

Restrepo et al. respir care 2011;56(10):1600-4



Conclusion

- EMI efficace +++ sur dyspnée, capacité exercice temps de sevrage de VM
- EMI intéressant si force objectivement altérée (patients plus répondeurs si $P_{i\max} < 60\text{cm H}_2\text{O}$ dans la BPCO)
- EMI indiqué si difficultés de sevrage, $P_i \max < 20\text{ cm H}_2\text{O}$ en réa???
- Associé à un programme de réhabilitation
- EMI : modalités différentes en aigu /chronique, selon pathologies?
- Réentraînement à l'exercice
- Kinésithérapie respiratoire
- Etudes à réaliser

Merci de votre attention



mbeaumont@ch-morlaix.fr