

La stimulation électrique neuromusculaire au cœur des soins intensifs

Neuromuscular electrical stimulation in the intensive care unit

A. Abdellaoui · N. Heraud · M. Courbon

Reçu le 29 mars 2012 ; accepté le 22 mai 2012
© SRLF et Springer-Verlag France 2012

Résumé En raison des progrès techniques et d'une amélioration continue de la qualité des soins, de plus en plus de patients survivent à leur maladie grave. Toutefois, lors des séjours en unité de soins intensifs (USI), des altérations de la structure et de la fonction musculaire sont systématiquement observées et à l'origine de multiples conséquences fonctionnelles. Afin de réduire ces complications, des stratégies alternatives comme la stimulation électrique neuromusculaire (SENM) peuvent être envisagées. En effet, il est clairement établi qu'en initiant le plus précocement possible un réentraînement à l'effort, les patients évoluent mieux. Dans cette revue, les effets, les mécanismes d'action potentiels ainsi que les aspects méthodologiques de la SENM sont discutés. Les premières études sur la SENM en USI rapportent des résultats encourageants. Toutefois, des études complémentaires doivent encore être proposées pour mieux en comprendre les mécanismes. De plus, cette technique ne doit pas se substituer aux techniques de prise en charge classiquement proposées en USI.

Mots clés Unité de soin intensif · Dysfonction musculaire · Stimulation électrique neuromusculaire

Abstract In relation to the ongoing progress in patient management in the intensive care unit (ICU), the survival rate of many chronic illnesses has significantly increased in the recent years. However, during ICU stay, structural and functional muscle deteriorations systematically occur and result in various functional consequences. In order to counteract and reduce these complications, alternative strategies such as neuromuscular electrical stimulation (NMES) may be

considered. Initiating exercise training as soon as possible improves patient's prognosis in the ICU. The aim of the present review is to discuss the potential effects, mechanisms, and technical aspects of NMES. Preliminary results regarding the use of this training program in the ICU are encouraging. However, further research should be performed to better understand the mechanisms involved in this therapy.

Keywords Intensive care · Muscle dysfunction · Neuromuscular electrical stimulation

Introduction

Chaque année dans le monde, des millions de patients sont admis dans les unités de soins intensifs (USI) [1]. Au début du siècle dernier, la majorité des patients mourait des suites d'affections graves. Aujourd'hui, grâce aux progrès médicaux, de plus en plus de patients parviennent à résister à ces affections et survivent [2,3]. Cependant, environ 40 % de ces personnes ne retrouvent pas l'état de santé qu'ils avaient avant leur séjour en soins intensifs. En effet, plusieurs études prospectives observationnelles ont évalué l'état des patients six mois après le passage en USI. Les auteurs rapportent systématiquement une fatigabilité générale importante et un manque de mobilité et d'autonomie [4,5]. Herridge et al. ont ainsi montré que 51 % des patients n'avaient pas repris leur activité professionnelle un an après un séjour en USI et encore 23 %, cinq ans après [6,7]. La qualité de vie de ces patients (évaluée par le questionnaire SF-36) restait également inférieure à la norme, et ce, même cinq ans après l'hospitalisation en USI [7]. De plus, la tolérance à l'effort de ces patients, évaluée par le test de marche de six minutes, atteignait 66 à 76 % des valeurs théoriques, et ce, malgré une fonction pulmonaire quasi normale [6,7].

Dans ce contexte, il apparaît clairement que l'état musculaire conditionne et participe grandement au pronostic des patients pendant et après l'hospitalisation en USI. En effet, la plupart des patients admis en USI présentent une

A. Abdellaoui (✉) · N. Heraud · M. Courbon
Clinique du Souffle « La Vallonie », groupe Fontalvie,
800, avenue Joseph-Vallot, F-34700 Lodève, France
e-mail : aldjia_abdellaoui@yahoo.fr

A. Abdellaoui
Inserm U1046, université Montpellier-I,
CHUR de Montpellier, France

dysfonction musculaire [8], qui vient aggraver la maladie primaire et compliquer leur rétablissement [9,10]. Elle est associée à une augmentation de la durée de séjour en USI et à une augmentation de la mortalité [11–13]. Cette dysfonction musculaire peut persister jusqu'à quatre ans après la sortie en USI [14]. Les conséquences fonctionnelles d'un séjour prolongé en réanimation ou en USI peuvent donc être désastreuses sur le plan musculaire. Ainsi, il n'est pas surprenant de voir que cette question fait l'objet d'un intérêt majeur, comme le témoigne le nombre important de publications qui lui sont consacrées [8,15–17].

Bien que les mécanismes exacts de cette dysfonction musculaire ne sont pas clairement établis [14], de nombreuses hypothèses peuvent être évoquées. Ainsi, l'inflammation systémique, la modification de l'état nutritionnel, les effets secondaires pharmacologiques, des changements neuropathiques, l'inactivité physique et l'alitement prolongé des patients sont très fréquemment mis en cause [18–21].

Les lésions musculaires se traduisent d'un point de vue clinique par une réduction de la masse et de la force musculaire. En effet, Spruit et al. ont montré qu'au troisième jour d'hospitalisation en USI, pour une exacerbation de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), la force du quadriceps était diminuée de 20 % par rapport à celle d'un patient BPCO stable et continuait de diminuer de façon significative au cours de l'hospitalisation [22]. De plus, la récupération de la fonction musculaire était quasi nulle, puisque trois mois après le passage en USI, la force du quadriceps n'était améliorée que de 6 % [22]. Ces résultats indiquent qu'en l'absence d'une prise en charge spécifique, il n'y a pas de réversibilité naturelle au déclin de la fonction musculaire chez ces patients.

Alors faut-il se contenter de sortir les patients vivant des USI ou faut-il réagir rapidement en leur proposant une prise en charge spécifique dès leur hospitalisation ? Si la réponse est oui, existe-t-il des techniques pour accompagner ces patients ?

À ce sujet, plusieurs études se sont attachées à évaluer les effets d'une prise en charge précoce, c'est-à-dire d'un programme de réhabilitation débutant dès la première semaine d'hospitalisation en USI [23–28]. Il ressort qu'une réhabilitation précoce, en moyenne 48 heures après intubation, permet une diminution de la durée d'hospitalisation (moins deux jours) et une autonomisation plus rapide (plus quatre jours) [29]. Cependant, tous les patients en USI ne peuvent participer aux programmes d'activité physique, en raison de la sédation, des troubles cognitifs, ou encore d'une réserve physiologique insuffisante [27]. C'est donc dans ce contexte que la stimulation électrique neuromusculaire (SENM) est apparue comme une alternative intéressante. En effet, la SENM est une technique simple, non invasive et ne sollicite pas la réponse cardiorespiratoire.

SENM

Principes de la SENM

Le principe de la SENM consiste à produire une contraction musculaire en imposant une stimulation électrique par l'intermédiaire d'électrodes appliquées sur la peau (Fig. 1). Cette stimulation électrique n'excite pas directement les fibres musculaires, mais les terminaisons axonales intramusculaires [30], plus excitables que les fibres musculaires. L'activation des terminaisons nerveuses génère ainsi des potentiels d'action au niveau des axones moteurs qui se propagent jusqu'à la jonction neuromusculaire puis le long des fibres musculaires, provoquant l'interaction des protéines contractiles et in fine la contraction musculaire.

Application de la SENM

La SENM a été d'abord largement développée chez le sujet sain sportif [31,32]. Par la suite, elle s'est développée dans plusieurs contextes pathologiques, comme par exemple :

- la médecine gériatrique [33] ;
- la médecine orthopédique (les ligamentoplasties du genou, les prothèses totales du genou [34]...) ;
- la neurologie (les lésions de la moelle épinière, la paralysie cérébrale, ou après un accident vasculaire cérébral [35]...) ;
- les pathologies chroniques (l'insuffisance cardiaque chronique [36,37], la BPCO [38–40]).

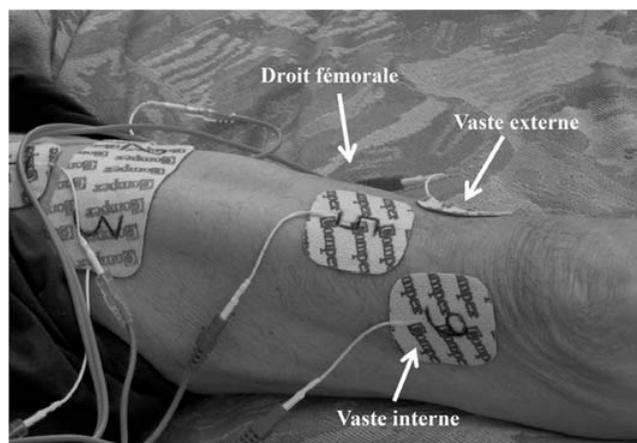


Fig. 1 Les électrodes sont appliquées sur la surface de la peau du muscle à stimuler. Les électrodes négatives sont positionnées sur les points moteurs du muscle à stimuler (les deux vastes et le droit fémoral pour la stimulation de la cuisse), et le pôle positif des électrodes est placé sur l'insertion des quadriceps (environ 5 cm en dessous du ligament inguinal)

Plus récemment, la SENM s'est développée avec succès dans la prise en charge des patients en réanimation et/ou en soin intensif.

SENM au cœur des soins intensifs

À ce jour, neuf études randomisées avec groupe témoin ont été publiées (Tableau 1) [41–49]. Ces études ont notamment mis en évidence qu'un programme de SENM pouvait augmenter, d'une part, la force musculaire et, d'autre part, la surface de section de la cuisse. L'augmentation de la force musculaire a pu être mise en évidence chez les patients BPCO trachéotomisés et ventilés pendant un mois en réanimation [41] et chez les patients BPCO hospitalisés pour une exacerbation [49]. Concernant l'augmentation de la surface de section, les résultats ont pu être confirmés par plusieurs techniques validées : mesure de la circonférence de la cuisse [44,46], échographie de haute résolution [42,45] et mesure de la surface de section des fibres musculaires [49]. Dans le même sens, Routsis et al. ont rapporté une moindre prévalence de la dysfonction musculaire pour les patients ayant bénéficié d'un traitement par SENM (13 % pour le groupe SENM versus 39 % pour le groupe témoin) [44]. Enfin, Gerovasili et al. se sont intéressés aux effets d'une simple séance de SENM. Les auteurs ont rapporté une amélioration de la microcirculation chez des patients admis en USI pour une insuffisance respiratoire aiguë comparativement à des sujets témoins [43].

Concernant les patients hospitalisés en soins intensifs après un choc septique avec une défaillance multiorgane, les résultats apparaissent contradictoires. En effet, Poulsen et al. ne rapportent aucun effet de la SENM sur la masse musculaire [47], alors que dans une étude menée sur un échantillon de 16 patients traités sous ventilation mécanique et hospitalisés pour un choc septique en USI, Rodriguez et al. rapportent une augmentation de la force des muscles quadriceps et biceps brachial au réveil des patients [48].

Au-delà des bénéfices locaux, induits par les programmes de SENM, plusieurs auteurs ont mis en évidence des bénéfices généraux. En effet, Zanotti et al. ont évalué l'impact d'un programme de stimulation sur l'autonomie fonctionnelle, et plus particulièrement sur le temps nécessaire pour que les patients soient capables de réaliser seuls et sans l'aide d'une tierce personne leur transfert lit–chaise. Les résultats montraient que cette autonomisation avait nécessité $10,75 \pm 2,4$ jours pour les patients dans le groupe stimulé versus $14,33 \pm 2,53$ jours pour le groupe témoin ne bénéficiant, quant à lui, que de mobilisations activopassives [41]. Enfin, une augmentation de la tolérance à l'effort, évaluée par la distance parcourue au test de marche de six minutes, a été rapportée dans le groupe ayant bénéficié de six semaines de SENM (165 [125–203] m) versus groupe témoin (58 [43–115] m) [49].

Bien que ces premières études nous apportent des résultats encourageants, certaines limites méthodologiques sont à considérer. En effet, ces études portent sur des populations de patients très hétérogènes, et sur des échantillons relativement faibles. De plus, les outils d'évaluation utilisés varient d'une étude à l'autre, ce qui rend la comparaison difficile. Les résultats bénéfiques de cette technique mériteraient donc d'être confirmés sur un échantillon plus large et sur de nouvelles études intégrant une méthodologie standardisée.

Concernant les mécanismes d'amélioration associés à la mise en place d'un programme de SENM, les études sont plus rares. Actuellement, une seule étude a réalisé des biopsies musculaires avant et après le programme de SENM chez les patients hospitalisés pour une exacerbation de BPCO [49]. Les résultats obtenus mettent en évidence une augmentation de la quantité des protéines impliquées dans la contraction musculaire (myosine). Cette augmentation était corrélée positivement avec l'amélioration de la force musculaire du quadriceps [49]. En accord avec ces résultats, une diminution des dommages oxydatifs, plus particulièrement au niveau de l'oxydation des protéines contractiles (myosine), a pu être observée. Cette étude a également rapporté une modification du profil contractile du quadriceps chez les patients. Cette modification se traduisait par une diminution significative de la proportion des fibres de type IIx (fibres glycolytiques) et une augmentation de la proportion de fibres de type I (fibres oxydatives) [49]. Toutefois, de nouvelles études avec une taille d'échantillon suffisante doivent encore être menées pour confirmer les mécanismes d'amélioration induits par cette technique.

Et en pratique, comment ça marche ?

Il n'existe pas encore de consensus sur les modalités de la SENM en soins intensifs. Toutefois, certains prérequis sont déterminants pour garantir une efficacité optimale des séances. Une attention particulière doit notamment être donnée à la qualité de la peau du patient. En effet, pour traiter les déshydratations cutanées, les patients en USI sont souvent traités avec des crèmes hydratantes. Un dégraissage de la peau à l'éthanol 70 % est donc conseillé avant le début de chaque séance. De même, une pilosité trop marquée limite l'adhérence des électrodes et empêche la diffusion optimale du courant électrique, il peut être pertinent de raser les patients avant chaque séance, si nécessaire.

Concernant le programme de stimulation, certaines caractéristiques du courant, telles que le type et la forme du courant, la fréquence, la durée d'impulsion, le cycle de travail, l'intensité de stimulation et le positionnement des électrodes, doivent être intégrées pour maîtriser la programmation [38]. En effet, le choix du programme doit en permanence répondre à trois objectifs :

Tableau 1 Résumé des données de la littérature relatives aux effets d'un programme de stimulation électrique neuromusculaire chez les patients hospitalisés en USI				
Auteurs, année Design de l'étude Nombre de sujets (groupe stimulé/groupe témoin)	Population	Programme de SENM	Groupes témoin	Résultats
Zanotti et al., 2003 [41] Randomisée avec groupe témoin (12/12)	Patients BPCO trachéotomisés sous ventilation mécanique pendant un mois	Stimulation des muscles quadriceps et fessiers Mobilisation activopassive Durée de 30 min/j Fréquence de 5 jours/semaine Pendant 4 semaines Phase d'échauffement : 5 min à 8 Hz et 250 μ s Phase de contraction : 25 min à 35 Hz et 350 μ s Courant biphasique rectangulaire asymétrique	Mobilisation activopassive	Augmentation de la force Amélioration de l'autonomie
Gerovasili et al., 2009 [42] Randomisée avec groupe témoin (13/13)	Patients admis en USI	Stimulation des muscles quadriceps et long péronier latéral Durée de 55 min/j Pendant 8 jours Intensité : contraction visible (entre 19–55 mA pour le quadriceps et entre 23–60 mA pour le long péronier latéral) Phase de contraction : 45 Hz et 400 μ s On/off : 12/6 s	Soins de routine	Préserve la masse musculaire
Routsi et al., 2010 [44] Randomisée avec groupe témoin (24/28)	Patients admis en USI (96 % sous ventilation mécanique)	Courant biphasique symétrique Stimulation des muscles quadriceps (les deux vastes) et long péronier latéral Durée de 55 min/j Intensité : contraction visible Phase de contraction : 45 Hz et 400 μ s On/off : 12/6 s Courant biphasique symétrique	Soins de routine	Diminution de l'incidence de la polyneuromyopathie dans le groupe stimulé

(Suite page suivante)

Tableau 1 (suite)	Auteurs, année Design de l'étude Nombre de sujets (groupe stimulé/groupe témoin)	Population	Programme de SENM	Groupe témoin	Résultats
	Gruther et al., 2010 [45] Randomisée avec groupe témoin	Patients admis en USI soit sous ventilation mécanique d'une durée < 7 jours (n = 8 dans le groupe traité et n = 9 dans le groupe témoin) ou > 2 semaines (n = 8 dans le groupe traité et n = 9 dans le groupe témoin)	Stimulation des muscles quadriceps Fréquence de 5 jours/semaine Pendant 4 semaines Durée 1 ^{re} semaine : 30 min/j Durée 2-4 semaines : 60 min/j Intensité : contraction visible Phase de contraction : 50 Hz et 350 µs On/off : 8/24 s	Sham	Augmentation de l'épaisseur musculaire seulement dans le 2 ^e groupe
	Meesen et al., 2010 [46] Randomisée avec groupe témoin (7/12)	Patients admis en USI pour : pontages aortocoronariens ; BPCO ; pneumonie ; accident vasculaire cérébral	Courant biphasique symétrique Stimulation du muscle quadriceps droit (vaste interne et droit fémoral) Durée de 30 min/j, aussi longtemps qu'ils ont été intubés et sous sédation Intensité : contraction visible Phase d'échauffement : 5 min, à 5 Hz et 250 µs Phase de contraction : 6 min à 60 Hz et 33 µs Phase de récupération : 8 min à 100 Hz et 250 µs	Soins de routine	Augmentation de la circonférence de la cuisse stimulée comparativement aux valeurs de base Aucune comparaison entre les deux groupes
	Poulsen et al., 2011 [47] Randomisée avec groupe témoin (8/8)	Patients admis en USI pour choc septique (sous ventilation mécanique)	Courant biphasique rectangulaire symétrique Stimulation du muscle quadriceps (randomisation de la cuisse stimulée) Durée de 60 min/j Pendant 7 jours Intensité : contraction visible Phase de contraction : 35 Hz et 300 µs On/off : 4/6 s Courant biphasique	Cuisse controlatérale	Perte de masse musculaire, non contrebalancée par la SENM

(Suite page suivante)

Tableau 1 (suite)		Population	Programme de SENM	Groupe témoin	Résultats
Auteurs, année Design de l'étude Nombre de sujets (groupe stimulé/groupe témoin)	Rodriguez et al., 2011 [48] Randomisée avec groupe témoin (14/14)	Patients admis en USI pour choc septique (sous ventilation mécanique)	Stimulation des muscles vaste interne du quadriceps et du biceps brachial (randomisation du coté à stimuler) Durée de 30 min/j, aussi longtemps qu'ils ont été intubés (7 à 30 jours) Intensité : contraction visible Phase de contraction : 100 Hz et 300 μ s On/off: 2/4 s Courant biphasique	Côté controlatéral	Augmentation de la force des muscles stimulés (quadriceps et biceps)
Abdellaoui et al., 2011 [49] Randomisée avec groupe témoin (9/6)	Patients en exacerbation BPCO, sous : ventilation mécanique ; oxygène ; intubation	Stimulation des muscles quadriceps (les deux vastes et le droit fémoral) et Ischiojambier Durée de 60 min/j Fréquence de 5 jours/semaine Pendant 6 semaines Intensité : maximale tolérable Phase d'échauffement : 5 min à 8 Hz et 400 μ s Phase de contraction : 50 min à 35 Hz et 400 μ s Phase de récupération : 5 min à 2 Hz et 400 μ s On/off : 6/12 s Courant biphasique rectangulaire symétrique	Sham	Augmentation de la force musculaire et de la tolérance à l'effort (distance au test de marche) Diminution du stress oxydant musculaire Augmentation de la quantité des protéines contractiles Modification de la typologie musculaire (augmentation des fibres oxydatives)	

SENM : stimulation électrique neuromusculaire ; BPCO : bronchopneumopathie chronique obstructive ; USI : unité de soin intensif.

- produire une contraction efficace ;
- limiter la douleur et l'inconfort du sujet ;
- minimiser la fatigue.

Le paragraphe qui suit résume les caractéristiques des différents paramètres requis pour l'élaboration d'un programme de SENM.

Courant électrique

Dans la pratique clinique, trois grands *types de courant* sont répertoriés (courant continu ou galvanique, alternatif ou périodique et par impulsion). Le courant le plus utilisé en SENM est le courant par impulsion [38].

Outre le type de courant, la *forme* de celui-ci est un paramètre essentiel pour l'efficacité et le confort de la contraction. Elle peut être monophasique (unidirectionnel) ou biphasique (elle comporte une phase dans les deux directions polaires). Cette dernière peut être à impulsions biphasiques symétriques (ce qui diminue les risques de réactions électrochimiques cutanées) ou asymétriques [38].

Un autre paramètre important est la *pente d'établissement du courant* (ou forme de l'onde). Celle-ci garantit également l'efficacité de l'onde électrique et/ou le confort associé à la contraction. En effet, si la pente est raide (forme rectangulaire), l'onde électrique est plus efficace pour provoquer une contraction. À l'inverse, si son allure est plus progressive la tolérance est optimale. Toutefois, aucun consensus n'existe sur le type et la forme du courant à privilégier. Il semblerait, cependant, que les *courants rectangulaires biphasiques à impulsions symétriques* sont plus efficaces pour développer une contraction musculaire et limiter la fatigue [50].

Durée d'impulsion (largeur d'impulsion)

La largeur d'impulsion est la durée du passage du courant. Elle est dépendante de la taille du muscle à stimuler. En général, elle varie entre 200 et 400 μ s [50]. Plus la taille du muscle à stimuler est grande, plus la durée d'impulsion doit être longue [51]. Pour un muscle tel que le quadriceps, la durée d'impulsion est généralement proche de 400 μ s [38].

Fréquence du courant

La fréquence de stimulation correspond au nombre de chocs générés par seconde. Elle s'exprime en hertz. Classiquement, on distingue les basses (< 50 Hz) et les hautes fréquences (> 50 Hz) [38].

Intensité de stimulation

L'intensité correspond à l'amplitude du courant (mA). C'est un paramètre très important à contrôler lors des séances de SENM. En effet, il existe une relation linéaire entre l'intensité de stimulation et la force évoquée par la stimulation [38].

L'intensité s'établit en fonction des caractéristiques intrinsèques du sujet, notamment la résistance cutanée. Elle peut être diminuée en préparant la peau et en ajoutant des gels de contact sous les électrodes. Le plus souvent, l'intensité est fixée à l'intensité maximale supportée par les patients et elle est augmentée au fur et à mesure des séances.

Cycle de travail

C'est un paramètre important à contrôler lors d'un programme SENM, car il agit sur la fatigue musculaire. Il se définit comme le rapport du temps de stimulation sur le temps total (temps de stimulation et temps de récupération). En général, la durée du cycle de travail est comprise entre 10–50 % [52].

Les caractéristiques du programme de SENM définies, les séances de stimulation peuvent débuter. Chaque session de SENM se composera toujours d'une phase d'échauffement, de contraction et de récupération musculaire. Afin d'avoir un effet sur la fonction musculaire, 15 à 20 séances de SENM d'une durée moyenne de 30 minutes sont nécessaires [38].

À titre d'exemple, dans notre propre établissement, la clinique du Souffle la Vallonie, la première séance du programme est consacrée, d'une part, à l'éducation du patient (si possible) et, d'autre part, à la recherche des points moteurs du muscle à stimuler. Le point moteur d'un muscle se définit comme la projection au niveau de la peau du point d'épanouissement du nerf à l'intérieur du muscle. La recherche des points moteurs est recommandée avant la première séance de stimulation musculaire, car elle est la garantie de l'efficacité des programmes et du meilleur confort des patients. Cette recherche des points moteurs ne nécessite pas la coopération du patient. Elle peut facilement être réalisée au chevet du patient installé en décubitus dorsal. Pour ce faire, il suffit de placer une électrode sur la peau du patient (à la racine du muscle) et de la connecter à la fiche négative (câble noir) du dispositif. Le deuxième câble (rouge) est quant à lui connecté au stylet. Après avoir étalé une couche régulière de gel conducteur sur la zone à stimuler, le masseur-kinésithérapeute augmente l'intensité de stimulation et déplace la pointe du stylet sur la couche de gel sans jamais perdre le contact avec ce dernier. Le point où la contraction musculaire sera la plus visible sera considéré comme le point moteur et le repère pour placer ensuite l'électrode de stimulation. Les points moteurs peuvent être marqués au moyen d'un crayon dermatographique, afin d'éviter de réaliser cette étape avant chaque séance.

Conclusion

Les premières études sur la SENM en USI rapportent des résultats encourageants. Cette technique limite l'altération

de la fonction et de la structure musculaire, voire l'améliore chez ces patients. Parce que la SENM ne nécessite pas la coopération du patient et n'induit pas de sensation de dyspnée au cours des séances, elle peut être considérée comme une alternative intéressante au réentraînement précoce des patients hospitalisés en soins intensifs ou en réanimation. Cependant, de nouvelles études doivent encore être menées sur un échantillon plus large afin de confirmer les bénéfices de cette technique, d'en comprendre les mécanismes d'action et d'en définir les indications thérapeutiques précises. De plus, nous pensons que la SENM ne doit pas remplacer la prise en charge des patients en USI par les masseur-kinésithérapeutes. En effet, les mobilisations activopassives, les verticalisations des patients, la déambulation... sont des techniques de prise en charge à part entière et ne peuvent en aucun cas être compensées par la SENM qui reste une technique de musculation passive. Cependant, une association de ces prises en charge nous paraît très intéressante. Proposée très tôt, la SENM pourrait permettre de limiter les effets de l'immobilisation et lorsque les patients deviennent plus autonomes, elle potentialiserait les effets du réentraînement standard.

Remerciements : les auteurs remercient Dr Annabelle Couillard pour la figure d'électrostimulation et Mlle Marie Hokayem.

Conflit d'intérêt : les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt.

Références

- Adhikari NK, Rubenfeld CD (2011) Worldwide demand for critical care. *Curr Opin Crit Care* 17:620–5
- Spragg RG, Bernard GR, Checkley W, et al (2010) Beyond mortality: future clinical research in acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 181:1121–7
- Martin GS, Mannino DM, Eaton S, Moss M (2003) The epidemiology of sepsis in the United States from 1979 through 2000. *N Engl J Med* 348:1546–54
- Eddleston JM, White P, Guthrie E (2000) Survival, morbidity, and quality of life after discharge from intensive care. *Crit Care Med* 28:2293–9
- Granja C, Teixeira-Pinto A, Costa-Pereira A (2002) Quality of life after intensive care-evaluation with EQ-5D questionnaire. *Intensive Care Med* 28:898–907
- Herridge MS, Cheung AM, Tansey CM, et al (2003) One-year outcomes in survivors of the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 348:683–93
- Herridge MS, Tansey CM, Matté A, et al (2011) Functional disability 5 years after acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 364:1293–304
- Stevens RD, Marshall SA, Cornblath DR, et al (2009) A framework for diagnosing and classifying intensive care unit-acquired weakness. *Crit Care Med* 37:S299–S308
- Ali NA, O'Brien JM Jr, Hoffmann SP, et al (2008) Acquired weakness, handgrip strength, and mortality in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med* 178:261–8
- De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Durand MC, et al (2007) Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness. *Crit Care Med* 35:2007–15
- De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Sharshar T, et al (2004) Does ICU-acquired paresis lengthen weaning from mechanical ventilation? *Intensive Care Med* 30:1117–21
- Garnacho-Montero J, Amaya-Villar R, García-Garmendía JL, et al (2005) Effect of critical illness polyneuropathy on the withdrawal from mechanical ventilation and the length of stay in septic patients. *Crit Care Med* 33:349–54
- Sharshar T, Bastuji-Garin S, Stevens RD, et al (2009) Presence and severity of intensive care unit-acquired paresis at time of awakening are associated with increased intensive care unit and hospital mortality. *Crit Care Med* 37:3047–53
- Bogdanski R, Blobner M, Werner C (2003) Critical illness polyneuropathy and myopathy: do they persist for lifetime? *Crit Care Med* 31:1279–80
- Chambers MA, Moylan JS, Reid MB (2009) Physical inactivity and muscle weakness in the critically ill. *Crit Care Med* 37:S337–S46
- Ginz HF, Iazzo PA, Girard T, et al (2005) Decreased isometric skeletal muscle force in critically ill patients. *Swiss Med Wkly* 135:555–61
- Paddon-Jones D, Sheffield-Moore M, Cree MG, et al (2006) Atrophy and impaired muscle protein synthesis during prolonged inactivity and stress. *J Clin Endocrinol Metab* 91:4836–41
- Witt NJ, Zochodne DW, Bolton CF, et al (1991) Peripheral nerve function in sepsis and multiple organ failure. *Chest* 99:176–84
- Leijten FS, De Weerd AW, Poortvliet DC, et al (1996) Critical illness polyneuropathy in multiple organ dysfunction syndrome and weaning from the ventilator. *Intensive Care Med* 22:856–61
- Bednarik J, Lukas Z, Vondracek P (2003) Critical illness polyneuromyopathy: the electrophysiological components of a complex entity. *Intensive Care Med* 29:1505–14
- Griffiths RD, Palmer TE, Helliwell T, et al (1995) Effect of passive stretching on the wasting of muscle in the critically ill. *Nutrition* 11:428–32
- Spruit MA, Gosselink R, Troosters T, et al (2003) Muscle force during an acute exacerbation in hospitalised patients with COPD and its relationship with CXCL8 and IGF-I. *Thorax* 58:752–6
- Truong AD, Fan E, Brower RG, Needham DM (2009) Bench-to bedside review: mobilizing patients in the intensive care unit: from pathophysiology to clinical trials. *Crit Care* 13:216
- Man WD, Polkey MI, Donaldson N, et al (2004) Community pulmonary rehabilitation after hospitalisation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: randomised controlled study. *BMJ* 329:1209
- Clini E, Roversi P, Crisafulli E (2010) Early rehabilitation: much better than nothing. *Am J Respir Crit Care Med* 181:1016–7
- Clini EM, Crisafulli E, Costi S, et al (2009) Effects of early inpatient rehabilitation after acute exacerbation of COPD. *Respir Med* 103:1526–31
- Burtin C, Clerckx B, Robbeets C, et al (2009) Early exercise in critically ill patients enhances short-term functional recovery. *Crit Care Med* 37:2499–505
- Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, et al (2009) Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomised controlled trial. *Lancet* 373:1874–82
- Kress JP (2009) Clinical trials of early mobilization of critically ill patients. *Crit Care Med* 37:S442–S7

30. Hultman E, Sjöholm H, Jäderholm-Ek I, Krynicki J (1983) Evaluation of methods for electrical stimulation of human skeletal muscle in situ. *Pflügers Arch* 398:139–41
31. Maffiuletti NA (2006) The use of electrostimulation exercise in competitive sport. *Int J Sports Physiol Perform* 1:406–7
32. Maffiuletti NA (2010) Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol* 110:223–34
33. Amiridis I, Arabatzi F, Violaris P, et al (2005) Static balance improvement in elderly after dorsiflexors electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol* 94:424–33
34. Petterson S, Snyder-Mackler L (2006) The use of neuromuscular electrical stimulation to improve activation deficits in a patient with chronic quadriceps strength impairments following total knee arthroplasty. *J Orthop Sports Phys Ther* 36:678–85
35. Glinisky J, Harvey L, Van Es P (2007) Efficacy of electrical stimulation to increase muscle strength in people with neurological conditions: a systematic review. *Physiother Res Int* 12:175–94
36. Nuhr MJ, Pette D, Berger R, et al (2004) Beneficial effects of chronic low-frequency stimulation of thigh muscles in patients with advanced chronic heart failure. *Eur Heart J* 25:136–43
37. Sillen MJ, Speksnijder CM, Eterman RM, et al (2009) Effects of neuromuscular electrical stimulation of muscles of ambulation in patients with chronic heart failure or COPD: a systematic review of the English-language literature. *Chest* 136:44–61
38. Vivodtzev I, Lacasse Y, Maltais F (2008) Neuromuscular electrical stimulation of the lower limbs in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 28:79–91
39. Couillard A, Prefaut C (2010) Electrostimulation in the rehabilitation of patients with severe COPD: pertinent or not. *Rev Mal Respir* 27:113–24
40. Vivodtzev I, Debigaré R, Gagnon P, et al (2011) Functional and muscular effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with severe COPD: a randomized clinical trial. *Chest* 141:716–25
41. Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fracchia C (2003) Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: effect of electrical stimulation. *Chest* 124:292–6
42. Gerovasili V, Stefanidis K, Vitzilaios K, et al (2009) Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: a randomized study. *Crit Care* 13:R161
43. Gerovasili V, Tripodaki E, Karatzanos E, et al (2009) Short-term systemic effect of electrical muscle stimulation in critically ill patients. *Chest* 136:1249–56
44. Routsis C, Gerovasili V, Vasileiadis I, et al (2010) Electrical muscle stimulation prevents critical illness polyneuromyopathy: a randomized parallel intervention trial. *Crit Care* 14:R74
45. Gruther W, Kainberger F, Fialka-Moser V, et al (2010) Effects of neuromuscular electrical stimulation on muscle layer thickness of knee extensor muscles in intensive care unit patients: a pilot study. *J Rehabil Med* 42:593–7
46. Meesen RL, Dendale P, Cuypers K, et al (2010) Neuromuscular electrical stimulation as a possible means to prevent muscle tissue wasting in artificially ventilated and sedated patients in the intensive care unit: a Pilot Study. *Neuromodulation* 13:315–321
47. Poulsen JB, Moller K, Jensen CV, et al (2011) Effect of transcutaneous electrical muscle stimulation on muscle volume in patients with septic shock. *Crit Care Med* 39:456–61
48. Rodriguez PO, Setten M, Maskin LP, et al (2011) Muscle weakness in septic patients requiring mechanical ventilation: Protective effect of transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *J Crit Care* [Epub ahead of print]
49. Abdellaoui A, Prefaut C, Gouzi F, et al (2011) Skeletal muscle effects of electrostimulation after COPD exacerbation: a pilot study. *Eur Respir J* 38:781–8
50. Vanderthommen M, Crielaard JM (2001) Muscle electric stimulation in sports medicine. *Rev Med Liege* 56:391–5
51. Bowman BR, Baker LL (1985) Effects of waveform parameters on comfort during transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Ann Biomed Eng* 13:59–74
52. Packman-Braun R (1988) Relationship between functional electrical stimulation duty cycle and fatigue in wrist extensor muscles of patients with hemiparesis. *Phys Ther* 68:51–6