

Comment, en pratique clinique, évaluer la force musculaire du patient de réanimation ?

How to assess muscle strength in clinical practice in the intensive care unit?

N. Dousse · F. Vermeulen · L. Brochard

Reçu le 17 juillet 2013 ; accepté le 20 novembre 2013
© SRLF et Springer-Verlag France 2013

Résumé Les patients séjournant en réanimation développent fréquemment une faiblesse musculaire touchant les muscles des membres ainsi que les muscles respiratoires. Des difficultés de sevrage de la ventilation mécanique, une augmentation de la durée de séjour en réanimation et à l'hôpital ainsi qu'une diminution de la qualité de vie et des capacités physiques à long terme sont les conséquences attendues et bien décrites de la faiblesse musculaire. L'évaluation de la force musculaire semble nécessaire pour dépister le développement d'une faiblesse musculaire, la quantifier, pour adapter les exercices aux capacités des patients et pour évaluer les effets des traitements. Ceci explique l'intérêt suscité à développer des outils objectifs, fiables et sensibles pour mesurer la force musculaire en réanimation. Néanmoins, plusieurs facteurs peuvent altérer la qualité des mesures et rendre leur interprétation parfois complexe. Cet article décrit et discute les différents tests de mesure de force musculaire, des membres et du système respiratoire.

Mots clés Force musculaire · Faiblesse musculaire · Outils d'évaluation · Réanimation

Abstract Patients staying in the intensive care unit (ICU) frequently develop muscle weakness involving limbs and respiratory muscles. Difficulty in weaning from mechanical ventilation, increased length of stay in ICU and hospital, reduced quality of life, and physical long-term disabilities are expected well-described consequences of weak muscle. The assessment of muscle strength seems necessary to recognize and quantify muscle weakness, adapt the exercise to

the patient's capabilities, and evaluate the effects of the administered treatment. It explains the interest to develop objective, reliable, and sensitive tools to measure muscle strength in the ICU. However, several factors can affect the quality of measurements and complicate sometimes their interpretation. This article describes and reviews the different tests that can be performed in the ICU clinical practice to measure muscle strength.

Keywords Muscle strength · Muscle weakness · Assessment tools · Intensive care

Introduction

Les patients séjournant en réanimation développent fréquemment des troubles neuromusculaires. En effet, Stevens et al. ont rapporté dans le cadre d'une revue de littérature que jusqu'à 46 % des patients de réanimation étudiés avaient développé des anomalies neuromusculaires [1], dont la conséquence clinique est l'apparition d'une faiblesse musculaire atteignant les systèmes locomoteur et respiratoire [2]. En réanimation, l'alitement et l'immobilisation prolongée font partie des facteurs favorisant l'apparition d'une faiblesse musculaire [3,4], au même titre que le syndrome de réponse inflammatoire systémique, le sepsis, l'insuffisance circulatoire, l'hyperglycémie, la défaillance multiviscérale ou certains traitements médicamenteux [5,6]. Cette faiblesse musculaire va engendrer des complications telles que des difficultés de sevrage de la ventilation mécanique, une augmentation de la durée de séjour en réanimation et à l'hôpital ainsi qu'une diminution de la qualité de vie et des capacités physiques à long terme [7,8]. La réhabilitation précoce est un moyen efficace pour lutter contre l'apparition de trouble neuromusculaire [9] et les complications engendrées par la faiblesse musculaire [10-12]. Il est donc nécessaire de disposer d'outils objectifs, fiables et sensibles pour mesurer la force musculaire en réanimation [10,13-15], afin de dépister et quantifier une

N. Dousse (✉) · F. Vermeulen
Équipe des soins respiratoires, hôpitaux universitaires de Genève,
rue Gabrielle Perret-Gentil, 4, CH-1211 Genève 14
e-mail : nicolas.dousse@hcuge.ch

L. Brochard
Interdepartmental Division Director for Critical Care
in the Faculty of Medicine, University of Toronto,
563 Spadina Crescent, Toronto, Ontario, M5S 2J7 Canada

hypotonie musculaire [10,16], pour adapter les exercices physiques aux capacités des patients [17] et pour évaluer les effets des traitements [11]. Cet article a pour but de décrire et de discuter les différentes modalités de mesure de la force musculaire des patients hospitalisés en réanimation. Nous avons cependant délibérément limité notre propos aux outils utilisables en pratique courante. La mesure de la force musculaire à l'aide d'appareils d'isocinétisme ou de méthodes plus complexes ou semi-invasives, tels que la pression transdiaphragmatique, n'est pas abordée.

Muscles des membres

En réanimation, différents outils d'évaluation de la force musculaire volontaire [10,13,14] ou non volontaire [18] sont disponibles et utilisables selon le niveau de coopération du patient. Les méthodes de testing manuelles (MTM) et les méthodes de testing quantifiées (MTQ) [19,20] sont les plus couramment utilisées. Toutefois elles nécessitent un état d'éveil suffisant, une compréhension des ordres simples et une bonne collaboration des patients, qu'ils soient intubés ou non [16,21]. D'autres facteurs comme la position du patient lors du test, le manque d'expérience de l'examineur, la présence d'œdème, de fracture, de douleur dans les membres ainsi que l'administration de sédation peuvent entraver la faisabilité, la sensibilité et la fiabilité de ses examens [22]. Malgré cela, les tests d'évaluation volontaires de la force musculaire sont des outils cliniques standardisés permettant notamment de détecter la présence d'une neuromyopathie de réanimation (NMR) [13,23,24]. La présence d'une NMR est spécifiquement associée à des durées de sevrage de la ventilation mécanique prolongées [25].

L'échelle proposée par le *Medical Research Council* (MRC) [26] est l'une des MMT la plus couramment utilisée dans les études cliniques en réanimation pour évaluer la force musculaire [10,16,27] (Tableau 1). Ce test est simple à réaliser et a montré une très bonne reproductibilité interobservateurs sur des patients de réanimation [29] et post-réanimation [24] ainsi qu'une bonne fiabilité test-retest [14]. Cependant, Hough et al. [23] ont décrit un manque de faisabilité du score MRC en réanimation, en raison du nombre important de patients étant dans l'incapacité de réaliser cette évaluation (état confusionnel, coma et/ou blessures aux membres). D'autres auteurs ont relaté un manque de fiabilité et de sensibilité concernant les niveaux de cotation 4 et 5 du score MRC [30]. Ceci s'explique, entre autres, par la non-standardisation de la résistance à appliquer pour les niveaux 4 et 5, impliquant une moins bonne reproductibilité interobservateurs.

Des outils d'évaluation supplémentaires sont donc nécessaires afin d'améliorer la précision de la mesure de la force musculaire des membres supérieurs et inférieurs pour ces niveaux de cotation. Les MTQ réalisées à l'aide de dynamo-

Tableau 1 Mouvements à évaluer selon le *Medical Research Council* [26], modalités de cotation de la force musculaire [28] et modalités d'interprétation du score total [16]

Mouvements évalués bilatéralement

Abduction de l'épaule
Flexion du coude
Extension du poignet
Flexion de hanche
Extension du genou
Flexion dorsale de la cheville

Cotation de la force musculaire

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

Interprétation

La somme des cotations détermine un score allant de 0 à 60 points. Un score inférieur à 48 lors de deux évaluations réalisées à 24 heures d'intervalle est pris en compte pour diagnostiquer la présence d'une neuromyopathie de réanimation.

mètres portables permettent une mesure plus sensible de la force musculaire sur des patients de réanimation obtenant une cotation égale ou supérieure à 4 au score MRC [14]. Les dynamomètres portables ont montré une bonne reproductibilité intra- et interobservateurs en réanimation sur l'abduction d'épaule, la fermeture globale de la main, l'extension de jambe et la flexion dorsale de cheville [13,14]. Par contre, leur utilisation chez des patients présentant une faiblesse musculaire importante (≤ 3 selon la cotation du score MRC) semble limitée [20,31]. Hormis le dynamomètre à poignée de type "handgrip" (Fig. 1), l'évaluation de la force avec les dynamomètres portables de type "handheld" (Fig. 2) peut être limitée par la capacité des examinateurs à fournir une force de résistance supérieure à celle des sujets [14], notamment au niveau de groupes musculaires importants comme le quadriceps [31]. Des variations modérées de la force musculaire, pour la fermeture de la main, la flexion du coude et l'extension de la jambe (respectivement 20,8 %, 18,5 % et 19,5 %) sont rapportées comme nécessaires pour surmonter les erreurs de mesure à l'aide de dynamomètre portable chez des patients de réanimation. De plus, les patients de réanimation ont besoin de plus de temps pour déployer leur force maximale volontaire comparativement à des sujets sains [14]. Certains auteurs ont suggéré que la mesure de la force de préhension mesurée à l'aide du dynamomètre de type "handgrip", pourrait servir de valeur prédictive de la force générale du corps afin de détecter une

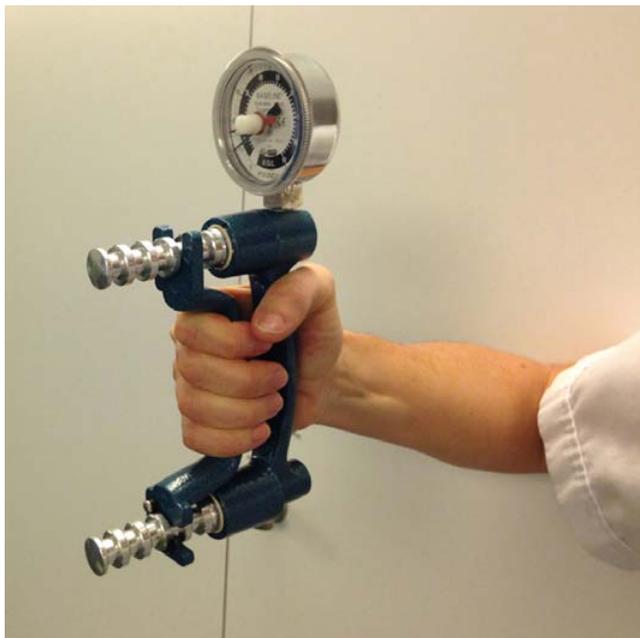


Fig. 1 Dynamomètre à poignée de type “handgrip”



Fig. 2 Dynamomètre portable de type “handheld”. Exemple de positionnement en vue de la mesure de la force du quadriceps

NMR et être un facteur prédictif indépendant de la mortalité en réanimation [13,22]. Cependant, l'une de ces études a conclu que la force de préhension mesurée par le dynamomètre à poignée ne pouvait pas servir de facteur prédictif de la mortalité en réanimation et que la force d'un seul groupe musculaire ne reflétait pas convenablement la force générale du corps [13]. Les données d'une étude prospective récente renforcent cette conclusion et la complètent en précisant que la force de préhension n'a pas, contrairement au score MRC, de caractère prédictif de la durée de ventilation mécanique et de la durée de séjour en réanimation et à l'hôpital [33].

Les méthodes d'évaluation de la force musculaire par stimulation magnétique ou électrique sont suggérées chez les

patients de réanimation présentant des altérations de l'état de conscience. Les techniques non volitionnelles permettent en effet d'apprécier la force musculaire sans participation du patient en réalisant une stimulation supra-maximale d'un nerf périphérique, provoquant une contraction musculaire. La force de cette contraction est mesurée à l'aide d'une jauge de contrainte fixée au segment testé. Cependant, son application chez des patients de réanimation reste limitée à l'évaluation de l'adducteur du pouce [18]. Les rares données évaluant la pertinence de ces outils sur d'autres groupes musculaires comme le quadriceps ont rapporté une faible reproductibilité [34]. De plus, la méthode utilisée pour évaluer la force musculaire du quadriceps, bien décrite par Polkey et al. [35], semble difficilement applicable au quotidien.

Que pouvons-nous retenir de l'évaluation des muscles des membres ?

Au vu de la littérature actuelle, le score MRC semble être l'outil de choix pour l'évaluation de la force musculaire des membres en réanimation compte tenu de sa simplicité, sa bonne fiabilité, son utilité clinique prédictive et sa validité qui a été démontrée dans plusieurs études cliniques comparativement aux autres méthodes. Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer l'utilité prédictive des valeurs mesurées à l'aide de dynamomètres. Toutefois cette méthode permet d'obtenir des résultats objectifs et plus précis que le MRC, dès lors que les patients ont des cotations égales ou supérieures à 4. En pratique clinique, l'évaluation de la force musculaire peut être réalisée à but « diagnostique » afin de suspecter la présence d'une neuromyopathie de réanimation ou à des fins analytiques pour évaluer l'effet d'un traitement et/ou adapter le choix de l'exercice ainsi que son intensité. À but analytique, le thérapeute peut avoir besoin d'étendre son évaluation à d'autres groupes musculaires que ceux pris en compte dans le score MRC. Pour obtenir à la fois une bonne fiabilité et une bonne reproductibilité des mesures, l'évaluation de la force musculaire devrait être réalisée avec la cotation de Lacote (Tableau 1) pour des cotations inférieures à 4 et avec un dynamomètre pour les cotations égales ou supérieures à 4 (Fig. 3). L'évolution technologique des systèmes d'évaluation non volitionnels pourra peut être améliorer la reproductibilité des mesures et faciliter son application clinique dans les années à venir.

Muscles respiratoires

Pressions inspiratoires et expiratoires maximales (PI_{max} , PE_{max})

Il s'agit des pressions maximales, mesurées au niveau de la bouche, que le patient est capable de générer. Ces pressions

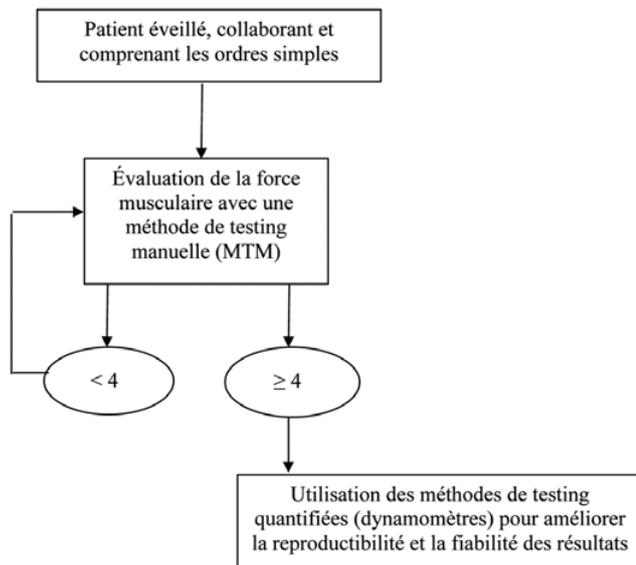


Fig. 3 Logigramme de l'évaluation de la force musculaire des membres en réanimation

sont mesurées soit à l'aide d'un embout buccal, soit à l'extrémité d'un tube endotrachéal ou d'une canule de trachéotomie. Le système de mesure doit être étanche mais tout de même comporter une petite fuite calibrée (2 mm de diamètre, 25 mm de long) qui permet d'éviter la fermeture de la glotte lors de l'effort inspiratoire [36].

Un embout nasal peut également être utilisé. Celui-ci est alors utilisé sur une narine, l'autre restant libre afin de permettre le reniflement. Une excellente corrélation a été observée entre cette mesure et celle de la pression œsophagienne durant la même manœuvre [37]. Cependant, à notre connaissance, aucun auteur ne s'est intéressé à l'intérêt de cette modalité en milieu de réanimation.

Afin de ne mesurer que la force des muscles inspiratoires ou expiratoires sans y adjoindre la force de recul élastique du système, les mesures devraient idéalement être réalisées à la capacité résiduelle fonctionnelle. Néanmoins, réalisées de cette manière, elles sont assez difficiles à obtenir de la part du patient. En conséquence, les recommandations de l'*American Thoracic Society* et de l'*European Respiratory Society* [38] prévoient que la PI_{max} soit mesurée au volume résiduel et que la PE_{max} soit mesurée à la capacité pulmonaire totale. Concrètement, il est demandé au patient, pour la mesure de la PI_{max} , de réaliser une vidange complète des poumons puis de réaliser un effort inspiratoire maximal (manœuvre de Muller). La manœuvre est inverse pour la mesure de la PE_{max} (manœuvre de Valsalva). L'effort maximal doit être maintenu au moins 1,5 seconde, la mesure étant enregistrée à 1 seconde. L'utilisation d'une pince nasale n'est pas recommandée. Un retour visuel avec un écran et logiciel de mesure facilite la réalisation de la manœuvre et améliore la fiabilité des résultats.

Les contre-indications absolues à ce type de test relèvent du bon sens : un pneumothorax récent, une chirurgie abdominale ou thoracique récente, ainsi que la présence d'une pathologie cardiaque instable [39].

Lors de la manœuvre, le clinicien encouragera vigoureusement le patient. La meilleure de trois valeurs est prise en compte si la variabilité des trois mesures est inférieure à 20 %. Malgré la facilité d'utilisation des petits appareils, des valeurs faussement basses peuvent être observées en cas de défaut de collaboration du patient (faible motivation ou mauvaise compréhension des consignes par exemple) ou d'effort sous-maximal. Dans ce dernier cas, il est à signaler que la mesure de la pression nasale (sniff test) peut représenter une alternative intéressante, notamment chez les patients atteints de maladies neuromusculaires. [40]. Le clinicien devra donc être critique s'il estime que la qualité de réalisation de la mesure n'est pas satisfaisante. Des valeurs prédites ont été calculées : un exemple de formules couramment utilisées est proposé dans le Tableau 2.

Chez des patients ventilés mécaniquement, Marini et al. [43] ont décrit l'utilisation d'un système comportant une valve unidirectionnelle (expiratoire) et une tête de pression (inspiratoire). Ce système, branché sur l'extrémité du tube endotrachéal, permet au patient d'expirer mais l'empêche d'inspirer. La pression est mesurée durant la phase inspiratoire. À chaque cycle ventilatoire, le patient diminue son volume pulmonaire, évoluant vers le volume résiduel. Cette modification de la mécanique ventilatoire favorise une plus grande force inspiratoire. Le système est laissé en place vingt secondes et la meilleure valeur observée est prise en compte.

Utilisant cette technique, Caruso et al. [44] ont étudié rétrospectivement l'évolution de la PI_{max} chez des patients ventilés mécaniquement. Ce faisant, ils ont clairement identifié deux profils d'évolution positive et négative. Les patients ayant une évolution négative de leur PI_{max} avaient reçu une sédation plus profonde, un plus grand nombre de jours de ventilation mécanique, et un taux d'extubation plus faible que le groupe dont la PI_{max} avait évolué positivement. Par contre, il est intéressant de relever qu'ils n'ont pas retrouvé de lien entre la force des quatre membres, mesurée

Tableau 2 Formules de prédiction des valeurs des PI_{max} et PE_{max} mesurés à la bouche [41], et de la PI_{max} mesurée à la narine [42] (âge en années, taille en centimètres)

	PI_{max} à la bouche (cmH ₂ O)	PE_{max} à la bouche (cmH ₂ O)	PI_{max} à la narine (cmH ₂ O)
Homme	142 - (1,03 x âge)	180 - (0,91 x âge)	(-0,42 x âge) + 126,8
Femme	-43 + (0,71 x taille)	3,5 + (0,55 x taille)	(-0,22 x âge) + 94,6

par le MRC et la PI_{max} . À l'inverse, De Jonghe et al. ont observé, dans une étude prospective, une corrélation significative entre les PI_{max} , PE_{max} et le MRC [45]. Multz et al. [46] ont étudié les résultats de mesures de PI_{max} effectuées avec la technique décrite par Marini, réalisées par plusieurs opérateurs chez 54 patients ventilés mécaniquement. Ils ont observé une importante variabilité inter-opérateur ainsi qu'une sous-estimation systématique de la PI_{max} . Ils ont alors conclu que la fiabilité de ce test est faible dans cette population de patients et ce, même si la méthode de mesure est standardisée.

Quel est l'intérêt de mesurer le PI_{max} et la PE_{max} chez les patients de réanimation ?

La PI_{max} a été proposée comme indicateur de sevrage de la ventilation mécanique. Des pressions inférieures à -30 cmH₂O sont associées au succès du sevrage. Des valeurs moins négatives que -20 cmH₂O sont par contre associées à

un échec de sevrage [47]. Comparée à d'autres paramètres, la valeur prédictive positive de la PI_{max} est relativement faible, bien que sa valeur prédictive négative soit très bonne [48]. De Jonghe et al. ont également observé que des valeurs basses de PI_{max} , PE_{max} et MRC étaient, de manière indépendante, prédictives d'un retard de sevrage de la ventilation mécanique [45]. La force des muscles expiratoires a un impact direct sur le débit expiratoire de pointe, celui-ci étant un des facteurs déterminants de la qualité de la toux [49,50] au même titre que la capacité inspiratoire [51]. En outre, une relation a été établie entre le débit de pointe à la toux mesuré avant l'extubation et le risque d'échec du sevrage ventilatoire [52] : une valeur ≤ 35 L/min était associée à un taux d'échec de sevrage de l'ordre de 24 %. À l'inverse, seuls 3 % des patients ayant une valeur supérieure à 35 L/min ont présenté un échec de sevrage ($p=0,002$). Une force expiratoire faible doit donc inciter le clinicien à envisager et prévenir autant que possible le risque de survenue de pneumonie, d'atélectasie et de détresse respiratoire [53].

Tableau 3 Tableau récapitulatif des différentes techniques de mesure des pressions respiratoires

Technique	Avantages	Inconvénients	Outils
Mesure des pressions à la bouche	Facilité de réalisation de la mesure Matériel facile d'utilisation et transportable Possibilité d'utilisation d'un logiciel permettant d'observer et d'analyser les courbes de pression.	Le patient doit pouvoir prendre fermement l'embout buccal afin d'éviter les fuites.	Appareil de mesure MIP/MEP/SNIP. (+/- 1000 EUR)
Mesure de la pression inspiratoire au niveau d'une narine	Facilité de réalisation de la mesure Valeurs sensiblement identiques que celles mesurées au niveau de la bouche Bonne reproductibilité Intéressant dans cas où le patient ne peut tenir fermement l'embout buccal (maladies neuromusculaires p. ex.)	Risque d'erreur en cas d'obstruction des voies aériennes supérieures.	
Mesure des pressions à l'extrémité d'une canule endotrachéale	Facilité de réalisation de la mesure Ne nécessite pas obligatoirement la collaboration du patient Intérêt chez les patients inconscients Facteur prédictif de la réussite du sevrage ventilatoire		Manomètre + adaptateur à placer à l'extrémité de la canule endotrachéale (+/- 150 EUR)
Mesure des pressions dans l'œsophage et dans l'estomac	Outils de référence pour la mesure des pressions respiratoires, avec notamment la pression trans-diaphragmatique Ne nécessite pas obligatoirement la collaboration du patient	Technique modérément invasive comportant des inconvénients possibles (irritation nasale, inconfort, nausées, réaction au latex) Nécessite un matériel spécifique, rarement disponible en pratique clinique courante Nécessite des compétences techniques spécifiques	Ballons en latex, manomètres électroniques, carte d'acquisition, logiciel

Finalement, que retenir? Steier et al. [54] ont évalué la capacité des tests les plus courants à déterminer la faiblesse des muscles respiratoires. Ils en concluent que chaque test pris séparément tend à surestimer la faiblesse musculaire. Par contre, l'utilisation complémentaire de plusieurs tests permet d'améliorer la précision du diagnostic. Ceci implique notamment l'utilisation de ballonnets œsophagiens et gastriques permettant de mesurer la pression trans-diaphragmatique. La technique devient alors légèrement plus invasive et plus complexe à mettre en place en pratique quotidienne. Cattapan et al. [55] ont évalué la corrélation qu'il pouvait y avoir entre la pression œsophagienne (Poes) et la pression à la bouche (Pbo), mesurées par stimulation magnétique externe des nerfs phréniques. Bien que les deux paramètres soient bien corrélés, le faible accord entre les deux paramètres ne permet pas entièrement de considérer que la Pbo est prédictive de la pression œsophagienne. D'autres auteurs ont trouvé une corrélation satisfaisante avec la pression trans-diaphragmatique [56]. Néanmoins, la mesure de la Pbo par stimulation magnétique est une alternative efficace pour suivre l'évolution du tonus du diaphragme car elle a une excellente reproductibilité.

Enfin, l'utilisation de la pression d'occlusion à 100 millisecondes (P0.1) associée à la PI_{max} sous forme d'index de l'activité des centres respiratoires a été proposée comme facteur prédictif de la réussite du sevrage ventilatoire [57].

Récemment Demoule et al. ont utilisé la technique de stimulation magnétique cervicale en réanimation pour tester la force du diaphragme en enregistrant la pression trachéale (Ptr,stim) mesurée lors d'une occlusion [58]. Des valeurs normales, en moyenne de 23 cmH₂O, ont été obtenues chez des patients d'anesthésiologie et 95 % des patients avaient plus de 11 cmH₂O. Au contraire, chez 85 patients de réanimation (79 % d'admissions médicales), 64 % des patients avaient dès l'admission des Ptr,stim inférieures à 11 cmH₂O. Les valeurs les plus basses étaient associées au sepsis et à la sévérité. Cette technique a également permis de montrer que chez les patients sous ventilation mécanique, la Ptr,stim diminuait progressivement d'environ 32 % après six jours [59]. Il est à souligner que la méthode utilisée est à la fois simple et relativement fiable. De plus, son aspect non volontaire, permet une bonne reproductibilité de la mesure. Ceci est à mettre en perspective avec des techniques plus idéales en termes de qualité et de fiabilité de la mesure (ballons œsophagien et gastrique) mais plus complexe et plus coûteuse à mettre en œuvre, notamment en pratique clinique quotidienne (Tableau 3).

En conclusion, des techniques simples, validées et non invasives permettent d'évaluer et de suivre le tonus musculaire des membres ou du système respiratoire des patients de réanimation. Des relations claires ont été établies entre la force musculaire et des risques de complications non négligeables. Néanmoins, la simplicité des mesures décrites se fait au prix d'une fiabilité variable, dépendant de nombreux fac-

teurs. Ceci rend parfois difficile l'interprétation des résultats. Il apparaît cependant intéressant pour le clinicien de pouvoir recourir à ces modalités d'évaluation, et ce de manière intégrée à une démarche plus large, prenant en compte le patient dans sa globalité.

Conflit d'intérêt : N. Dousse, F. Vermeulen et L. Brochard déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt.

Références

1. Stevens RD, Dowdy DW, Michaels RK, et al (2007) Neuromuscular dysfunction acquired in critical illness: a systematic review. *Intensive Care Med* 33:1876–91
2. Bolton CF (2005) Neuromuscular manifestations of critical illness. *Muscle nerve* 32:140–63
3. Kortebein P, Ferrando A, Lombeida J, et al (2007) Effect of 10 days of bed rest on skeletal muscle in healthy older adults. *JAMA* 297:1772–4
4. Suesada MM, Martins MA, Carvalho CR (2007) Effect of short-term hospitalization on functional capacity in patients not restricted to bed. *Am J Phys Med Rehabil* 86:455–62
5. Visser LH (2006) Critical illness polyneuropathy and myopathy: clinical features, risk factors and prognosis. *Eur J Neurol* 13:1203–12
6. De Jonghe B, Lacherade JC, Sharshar T, et al (2009) Intensive care unit-acquired weakness: risk factors and prevention. *Crit Care Med* 37(10 Suppl):309–15
7. 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
8. Herridge MS, Tansey CM, Matte A, et al (2011) Functional disability 5 years after acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 364:1293–304
9. Bailey P, Thomsen GE, Spuhler VJ, et al (2007) Early activity is feasible and safe in respiratory failure patients. *Crit Care Med* 35:139–45.
10. De Jonghe B, Sharshar T, Lefaucheur JP, et al (2002) Paresis acquired in the intensive care unit: a prospective multicenter study. *JAMA* 288:2859–67
11. Morris PE, Goad A, Thompson C, et al (2008) Early intensive care unit mobility therapy in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med* 36:2238–43
12. Gosselink R, Needham D, Hermans G (2012) ICU-based rehabilitation and its appropriate metrics. *Curr Opin Crit Care* 5:533–9
13. 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
14. Baldwin CE, Paratz JD, Bersten AD (2013) Muscle strength assessment in critically ill patients with handheld dynamometry: An investigation of reliability, minimal detectable change, and time of peak force generation. *J Crit Care* 28:77–86
15. Ginz HF, Iaizzo PA, Urwyler A, et al (2008) Use of non-invasive-stimulated muscle force assessment in long-term critically ill patients: a future standard in the intensive care unit? *Acta Anaesthesiol Scand* 52:20–7
16. Stevens RD, Marshall SA, Cornblath DR, et al (2009) A framework for diagnosing and classifying intensive care unit-acquired weakness. *Crit Care Med* 37:299–308
17. Morris PE, Goad A, Thompson C, et al (2008) Early intensive care unit mobility therapy in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med* 36:2238–43

18. Harris ML, Luo YM, Watson AC, et al (2000) Adductor pollicis twitch tension assessed by magnetic stimulation of the ulnar nerve. *Am J Respir Crit Care Med* 162:240–5
19. Hogrel JY, Ollivier G, Desnuelle C (2006) Manual and quantitative muscle testing in neuromuscular disorders. How to assess the consistency of strength measurements in clinical trials? *Rev Neurol (Paris)* 162:427–36
20. Paternostro-Sluga T, Grim-Stieger M, Posch M, et al (2008) Reliability and validity of the medical research council scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy. *J Rehabil Med* 40:665–71
21. Kleyweg RP, VanDerMeché FG, Schmitz PI (1991) Interobserver agreement in the assessment of muscle strength and functional abilities in Guillain-Barré syndrome. *Muscle Nerve* 14:1103–9
22. Waak K, Zaremba S, Eikermann M (2013) Muscle strength measurement in the intensive care unit: Not everything that can be counted counts. *Journal of Critical Care* 28:96–8
23. Hough CL, Lieu BK, Caldwell ES (2011) Manual muscle strength testing of critically ill patients: feasibility and interobserver agreement. *Crit Care* 15:R43
24. Fan E, Ciesla ND, Truong AD, et al (2010) Inter-rater reliability of manual muscle strength testing in ICU survivors and simulated patients. *Intensive Care Med* 36:1038–43
25. 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
26. Medical Research Council (1976) Aids to examination of the peripheral nervous system. Memorandum n° 45. London: Her Majesty's Stationery Office
27. De Jonghe B, Lacherade JC, Durand MC, et al (2007) Critical illness neuromuscular syndromes. *Crit Care Clin* 23:55–69
28. Lacote M, Chevalier AM, Miranda A, Bleton JP (1996) Évaluation clinique de la fonction musculaire. 3^e édition. Paris : Maloine
29. Hermans G, Clerckx B, Vanhullebusch T, et al (2012) Interobserver agreement of medical research council sum-score and hand-grip strength in the intensive care unit. *Muscle Nerve* 45:18–25
30. Bohannon RW (2005) Manual muscle testing: does it meet the standards of an adequate screening test? *Clin Rehabil* 19:662–7
31. Bittner EA, Martyn JA, George E, et al (2009) Measurement of muscle strength in the intensive care unit. *Crit Care Med* 37:321–30
32. Elliott D, Denehy L, Berney S (2011) Assessing physical function and activity for survivors of a critical illness: A review of instruments. *Australian Critical Care* 24:155–66
33. Lee JJ, Waak K, Grosse-Sundrup M, et al (2012) Global muscle strength but not grip strength predicts mortality and length of stay in a general population of patients in a surgical Intensive Care Unit. *Phys Ther* 92:546–55
34. Man WD, Moxham J, Polkey MI (2004) Magnetic stimulation for the measurement of respiratory and skeletal muscle function. *Eur Respir J* 24:846–60
35. Polkey MI, Kyroussis D, Hamnegard CH, et al (1996) Quadriceps strength and fatigue assessed by magnetic stimulation of the femoral nerve in man. *Muscle Nerve* 19:549–55
36. Black L, Hyatt R (1969) Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 99:696–702
37. Heritier F, Rahm F, Pasche P, et al (1994) Sniff nasal inspiratory pressure. A non invasive assessment of inspiratory muscle strength. *Am J Respir Crit Care Med* 150:1678–83
38. American Thoracic Society/European Respiratory Society (2002) ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 166:518–624
39. Troosters T, Gosselin N (2005) Question 3-2. L'évaluation de la fonction musculaire respiratoire et périphérique. *Rev Mal Respir* 22:7S24–7S32
40. Terzi N, Orlikowski D, Fermanian C, et al (2008) Measuring inspiratory muscle strength in neuromuscular disease : one or two? *Eur Respir J* 31:93–8
41. Wilson SH, Cooke NT, Edwards RHT, et al (1984) Predicted normal values for maximal respiratory pressures in Caucasian adults and children. *Thorax* 30: 535–8
42. Uldry C, Fitting JW (1985) Maximal values of sniff nasal inspiratory pressure in healthy subjects. *Thorax* 50:371–375
43. Marini JJ, Smith TC, Lamb V (1986) Estimation of inspiratory muscle strength in mechanically ventilated patients: the measurement of maximal inspiratory pressure. *J Crit Care* 1:32–8
44. Caruso P, Carnieli DS, Kagohara KH, et al (2008) Trend of maximal inspiratory pressure in mechanically ventilated patients: predictors. *Clinics* 63:33–8
45. 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
46. Multz AS, Aldrich TK, Prezant DJ, et al (1990) Maximal inspiratory pressure is not a reliable test of inspiratory muscle strength in mechanically ventilated patients. *Am Rev Respir Dis* 142:529–32
47. Eskandar N, Apostolakos MJ (2007) Weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Clin* 23:263–74
48. Yang KL, Tobin MJ (1991) A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 324:1445–50
49. Park JH, Kang SW, Lee SC, et al (2010) How respiratory muscle strength correlates with cough capacity in patients with respiratory muscle weakness. *Yonsei Med J* 51:392–7
50. Arora NS, Gal TJ (1981) Cough dynamics during progressive expiratory muscle weakness in healthy curarized subjects. *J Appl Physiol* 51:494–8
51. Trebbia G, Lacombe M, Fermanian C, et al (2005) Cough determinants in patients with neuromuscular disease. *Respir Physiol Neurobiol* 146:291–300
52. Beuret P, Roux C, Auclair A, et al (2009) Interest of an objective evaluation of cough during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 35:1090–3
53. McCool FD (2006) Global physiology and pathophysiology of cough. ACCP evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 129:48S–53S
54. Steier J, Kaul S, Seymour J, et al (2007) The value of multiple tests of respiratory muscle strength. *Thorax*. 62:975–80
55. Cattapan SE, Laghi F, Tobin MJ (2003) Can diaphragmatic contractility be assessed by airway twitch pressure in mechanically ventilated patients? *Thorax* 58:58–62
56. Mills GH, Ponte J, Hamnegard CH, et al (2001) Tracheal tube pressure change during magnetic stimulation of the phrenic nerves as an indicator of diaphragm strength on the intensive care unit. *Br J Anaesth* 87:876–84
57. Gandia F, Blanco J (1992) Evaluation of indexes predicting the outcome of ventilator weaning and value of adding supplemental inspiratory load. *Intensive Care Med* 18:327–33
58. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, et al (2013) Diaphragm Dysfunction on Admission to ICU: Prevalence, Risk Factors and Prognostic Impact - a Prospective Study. *Am J Respir Crit Care Med* 188:213–9
59. Jaber S, Petrof BJ, Jung B, et al (2011) Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *Am J Respir Crit Care Med* 183:364–71