



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



ARTICLE ORIGINAL

Reproductibilité de la mesure de la force et de l'endurance du quadriceps dans la BPCO

Reproducibility of strength and endurance measurements of the quadriceps in patients with COPD

M. Beaumont^{a,*}, G. Kerautret^c, L. Peran^a,
R. Pichon^a, C. Le Ber^a, M. Cabillic^{c,d}

^a Service de réhabilitation respiratoire, centre hospitalier des Pays-de-Morlaix, Kersaint Gilly, BP 97237, 29672 Morlaix cedex, France

^b Unité de recherche EA3878 (groupe d'étude de la thrombose de Bretagne-Occidentale), CHU de Brest, 29200 Brest, France

^c Institut régional de formations aux métiers de la rééducation et de la réadaptation des Pays-de-la-Loire, 54, rue de la Baugerie, 44230 Saint-Sébastien-sur-Loire, France

^d Institut de formation en masso-kinésithérapie, 12, rue Jean-Louis-Bertrand, 35000 Rennes, France

Reçu le 24 janvier 2016 ; accepté le 13 novembre 2016

MOTS CLÉS

Évaluation musculaire ;
Dynamomètre manuel ;
BPCO ;
Quadriceps

Résumé

Introduction. – Les patients atteints de BPCO ont fréquemment une altération de la force et de l'endurance des membres inférieurs et l'évaluation des quadriceps est recommandée dans cette pathologie. Le dynamomètre manuel est un instrument facile d'utilisation pour cette évaluation ; toutefois, la reproductibilité de ses mesures n'a pas été étudiée pour l'endurance. L'objectif de cette étude était d'évaluer la reproductibilité inter et intra-opérateur des mesures de force maximale volontaire et d'endurance des quadriceps avec un dynamomètre manuel chez des patients atteints de BPCO.

Méthode. – Les mesures de force maximale volontaire et d'endurance du quadriceps ont été effectuées en isométrique à l'aide d'un même dynamomètre manuel. Trois sessions de mesures séparées de 24 heures chacune ont été réalisées. Les reproductibilités intra- et interopérateurs ont été évaluées par le calcul du coefficient de corrélation intraclasse.

Résultats. – Vingt et un patients ont été inclus. Les coefficients de corrélations intraclasse pour la force maximale volontaire en intra- et interopérateurs étaient compris entre 0,95 et

* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : Marc.Beaumont@univ-brest.fr, mbeaumont@ch-morlaix.fr (M. Beaumont).

0,99. Concernant l'endurance, le coefficient pour la reproductibilité intra-opérateur était de 0,81. Les deux coefficients de corrélation intraclasse pour la reproductibilité interopérateurs étaient de 0,69 et 0,77.

Conclusion. – Le dynamomètre permet une excellente reproductibilité de la force maximale volontaire et une reproductibilité correcte à excellente de l'endurance. Cet outil est utilisable pour l'évaluation en pratique courante du quadriceps dans la BPCO, en particulier au cours de la réhabilitation respiratoire.

© 2017 SPLF. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Muscular evaluation;
Handheld
dynamometer;
COPD;
Quadriceps muscle

Summary

Introduction. – Patients with COPD frequently have lower strength and endurance in their lower limbs compared to healthy subjects and evaluation of their quadriceps strength is recommended in practice. The handheld dynamometer has been validated and is easy to use for this measurement but its reproducibility has never been studied for endurance evaluation and only poorly for strength. The objective of this study was to estimate the inter and intra-operator reproducibility of maximal voluntary strength and endurance measurements of the quadriceps with a handheld dynamometer in patients with COPD.

Methods. – The measurements of maximal voluntary strength and endurance were performed with a single handheld dynamometer using isometric contraction. Three measurement sessions were undertaken, separated by 24 hours. The intra- and interoperator reproducibility were estimated by calculation of the intraclass correlation coefficient.

Results. – Overall, 21 patients were included in the study. The intraclass correlation coefficient calculated for the maximal voluntary strength for intra and interoperator reliability ranged between 0.95 and 0.99. For endurance, the coefficient for intra-operator reliability was 0.81 and the two for interoperator reliability were 0.69 and 0.77.

Conclusion. – The handheld dynamometer allows an excellent inter and intra-operator reproducibility for the measurement of quadriceps maximal voluntary strength and a correct to excellent reproducibility for the measurement of quadriceps endurance. This tool may be used for the evaluation of quadriceps strength in clinical practice in COPD patients, particularly during rehabilitation.

© 2017 SPLF. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Introduction

La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) est une maladie à point de départ respiratoire [1], mais ses conséquences sur l'organisme sont plurisystémiques. Cela se traduit notamment par une diminution de la force maximale volontaire (FMV) et de l'endurance des muscles squelettiques [2–7]. C'est pourquoi la mesure de ces deux paramètres sur le quadriceps fait partie des bilans recommandés dans le suivi des patients atteints de BPCO [8]. La FMV du quadriceps est également un bon indicateur de mortalité [9]. L'endurance est très altérée dans la BPCO [10] ; un des objectifs de la réhabilitation respiratoire est d'améliorer l'endurance des muscles locomoteurs [11,12] et l'endurance est la donnée physiologique qui s'améliore le plus suite à un programme de réhabilitation respiratoire [13]. Il apparaît donc essentiel d'obtenir des mesures reproductibles de la force et de l'endurance de ce muscle.

Le dynamomètre manuel semble être un outil adapté à l'évaluation de la force musculaire au cours d'un programme

de réhabilitation respiratoire [14]. Un protocole utilisant un dynamomètre portable, associé à une ceinture de stabilisation afin de limiter les biais opérateurs-dépendants, a été proposé pour la mesure de la FMV du quadriceps par le groupe « fonction » de la Société de pneumologie de langue française (SPLF) [15]. Cette étude a repris ce protocole et a cherché à évaluer la reproductibilité de la mesure de la force et de l'endurance du quadriceps.

Matériels et méthodes

Population d'étude

Tout patient atteint de BPCO selon la classification GOLD 2006, hospitalisé dans le service de réhabilitation respiratoire du centre hospitalier des Pays-de-Morlaix était éligible pour participer à cette étude.

Les patients atteints de BPCO présentant une exacerbation, un trouble orthopédique ou une maladie rhumatismale

empêchant la réalisation répétée du test (déclenchant des douleurs ou crises inflammatoires), la présence d'une faiblesse abdominale (hernie ou suites d'une chirurgie abdominale), des troubles cardiovasculaires non stabilisés ou des troubles cognitifs n'étaient pas inclus dans cette étude.

L'étude a été approuvée par le comité de protection des personnes Ouest VI (n°CPP 803). Chaque patient y prenant part a bénéficié d'une information écrite concernant le projet et a donné son consentement par la signature d'un formulaire écrit.

Matériel

Le dynamomètre manuel utilisé pour cette étude était le MicroFet 2™ (Hoggan Scientific, Salt Lake City, États-Unis). Ce système de quantification de force musculaire affiche la mesure de la force maximale (ou pic de force) développée pendant une contraction, en newtons (N). Le dynamomètre dispose d'un système d'affichage instantané de la pression exercée gardant en mémoire le dernier essai réalisé et permettant de contrôler la pression exercée lors du test d'endurance. Le logiciel d'exploitation TBS 2000® (Quest Medical Group, West Jordan, États-Unis) permet de garder en mémoire les différents essais effectués et d'obtenir une courbe de pression au cours de la contraction.

Le reste du matériel était un plan de travail, une sangle inextensible réglable en longueur, un coussin triangulaire de mousse dense, un bracelet de mousse dense, un chronomètre, un mètre-ruban, un goniomètre et un stylo dermatographique.

Protocole des tests

Le protocole du test était réalisé selon la fiche technique réalisée par Bachasson et al. [15]. La longueur du bras de levier était mesurée avec un mètre-ruban comme la distance entre le plateau tibial interne et la ligne médiane de la surface d'application du dynamomètre.

Le sujet était assis en bord de table, la hanche et le genou fléchis à 90°. Un coussin de mousse dense était placé sous la partie distale de la cuisse. Les membres supérieurs étaient croisés, chaque main appliquée sur la face antérieure de l'épaule controlatérale, et le rachis thoracique était en légère cyphose afin de limiter les compensations par une extension rachidienne.

Le bracelet de mousse était disposé en partie distale du segment jambier, au niveau du point d'application du dynamomètre. Ce dernier était appliqué contre la face antérieure du bracelet en mousse, en regard de la crête tibiale. La sangle inextensible était attachée au pied de la table en arrière du segment jambier, dans son alignement. Elle revenait en avant du segment jambier, plaquant le dynamomètre contre le bracelet de mousse (Fig. 1). Le kinésithérapeute était face au patient et maintenait le dynamomètre en position sans effectuer de contre-pression manuelle (la contre-pression étant effectuée par la sangle) (Fig. 2).

L'échauffement consistait en 20 contractions statiques de 2 à 3 secondes, correspondant au verrouillage du genou en extension contre pesanteur, avec un temps de repos équivalent à celui de la contraction [16].

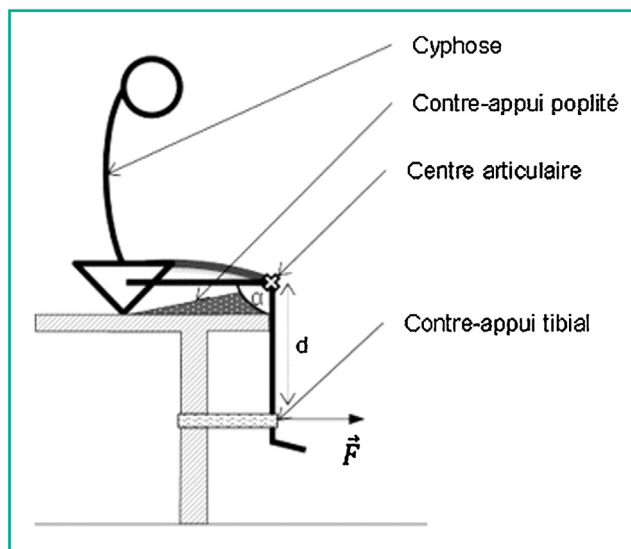


Figure 1. Installation du patient (reproduit d'après la référence 15 avec accord de l'auteur). F : force appliquée sur le dynamomètre en Newton (N), d : longueur du bras de levier en mètre (m), α : angle de flexion de l'articulation du genou = 90°.

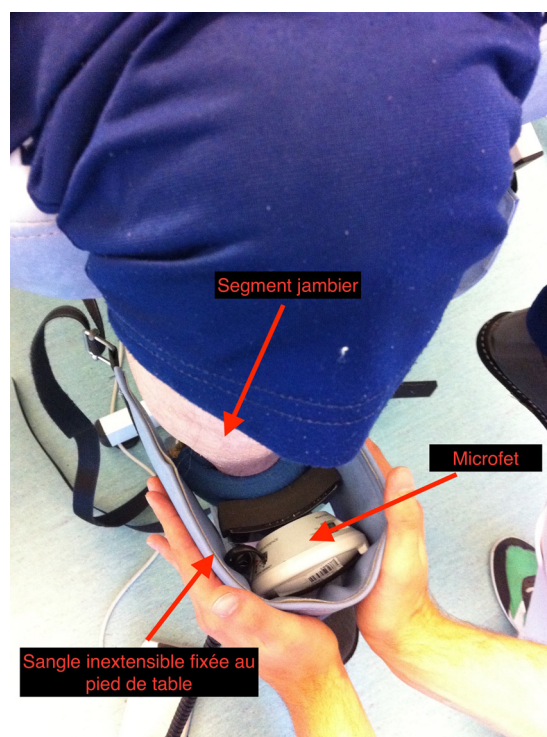


Figure 2. Position du patient et du kinésithérapeute.

La première mesure réalisée était celle de la FMV. La consigne donnée était : « Le but de ce test est de mesurer la force du muscle de la cuisse. Vous allez tendre le genou le plus fort que vous pourrez et maintenir la contraction pendant 1 à 3 secondes. Je vous indiquerai quand vous devez pousser. Je vous encouragerai. Pendant le test vous garderez les bras croisés sur la poitrine en faisant le dos rond. Il y aura 3 essais ». Au cours de la contraction, le sujet était vivement stimulé. La valeur maximale après trois essais était retenue.

et servait de référence pour calculer la valeur de l'intensité de la force à maintenir durant le test d'endurance. Chaque quadriceps était évalué pour la FMV avant d'être testé pour l'endurance. Le premier membre testé pour la FMV était également testé en premier pour l'endurance.

Pour la mesure de l'endurance, la consigne donnée au sujet est : « Le but de ce test est de mesurer l'endurance du muscle de la cuisse. Vous allez tendre le genou et à partir d'une certaine valeur je vous demanderai de maintenir la contraction le plus longtemps possible. Le test est chronométré. Pendant le test vous garderez les bras croisés sur la poitrine. Je vous encouragerai pendant toute la durée du test ». Une stimulation verbale était maintenue pendant toute la durée du test d'endurance ; le patient devait contracter son quadriceps à une intensité correspondant à 60 % de la FMV précédemment mesurée et le chronomètre était arrêté lorsque la force développée passait sous le seuil des 50 % de la FMV pendant au moins une seconde. Le temps indiqué sur le chronomètre correspondait au temps d'endurance.

Le recueil des données a été effectué entre le 1^{er} septembre et le 10 octobre 2014. Chaque patient a réalisé les tests 3 fois à j1, j2 et j3, chaque session étant séparée de 24 heures. L'intervalle de 24 heures choisi était le plus court possible pour éviter l'impact significatif du réentraînement à l'effort sans pour autant avoir celui de la fatigue causée par deux sessions trop rapprochées. Les mesures étaient ainsi obtenues au même moment de la journée, dans des conditions de réalisation similaires.

Un examinateur « A » effectuait deux sessions consécutives à j1 et j2 ou j2 et j3. Un examinateur « B » réalisait une session à j1 ou j3. L'ensemble « A1 » correspondait aux données recueillies lors de la première session effectuée par l'examineur « A », par exemple « A1 FMV » et « A1 endurance ». De même, l'ensemble « A2 » regroupait les valeurs obtenues à la deuxième session de l'examineur « A » et l'ensemble « B » correspondait aux valeurs recueillies par l'examineur « B ».

Analyse statistique

Le calcul du nombre de patients nécessaire à cette étude a été basé sur le travail de Walter et al. [17], ce nombre dépendant du nombre d'opérateurs, de la valeur minimum acceptable du coefficient de corrélation intraclasse (ICC) et de sa valeur optimale attendue. Dans cette étude, le nombre calculé de sujets nécessaires était de 19. Pour l'endurance et la FMV, les ICC étaient calculés pour évaluer les reproductibilités intra-opérateur et interopérateurs. Ce calcul était réalisé à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics 20[®].

La reproductibilité intra-opérateur était quantifiée en calculant l'ICC entre les ensembles « A1 » et « A2 ». La reproductibilité interopérateurs était mesurée en calculant l'ICC entre les ensembles A1 et B, puis entre les ensembles A2 et B. On obtient deux ICC mesurant la reproductibilité interopérateurs pour chacune des deux grandeurs. Les ICC obtenus ont été interprétés selon le travail de Shrout en 1998 [18] : la reproductibilité était considérée comme forte si l'ICC était compris entre 0,81 et 1, modérée entre 0,61 et 0,80, passable entre 0,41 et 0,60, faible entre 0,11 et 0,40 et nulle s'il était inférieur à 0,10.

Des analyses de Bland et Altman ont été réalisées pour apprécier la concordance des mesures entre les ensembles A1 et A2 puis A1 et B, pour l'endurance et la FMV.

Résultats

Entre le 1^{er} septembre et le 10 octobre 2014, 21 patients hospitalisés dans le service de réhabilitation du centre hospitalier des Pays-de-Morlaix répondant aux critères d'inclusion ont accepté de prendre part à l'étude. Les caractéristiques de la population sont rapportées dans le **Tableau 1**.

Neuf patients n'ont pas pu être inclus (un patient à cause de la non-compréhension de la langue française, trois patients du fait de douleurs des genoux, un patient en post-chirurgie thoracique, un patient en exacerbation, un patient en postréanimation immédiate, deux patients sans raison).

Les résultats obtenus montrent une forte reproductibilité inter et intra-observateur de la mesure de la FMV des quadriceps. Il est également retrouvé une forte reproductibilité intra-observateur et une reproductibilité interobservateurs modérée pour la mesure de l'endurance.

Les ICC obtenus sont exposés dans le **Tableau 2**.

La répétabilité intra-observateur et la reproductibilité interobservateurs de la mesure de la force et de l'endurance

Tableau 1 Caractéristiques de la population de l'étude.

<i>n</i>	21
Sex-ratio (H/F) (%)	67/33
Âge (années)	62,2 ± 8,6
Indice de masse corporelle (kg/m ²)	24,2 ± 6,8
VEMS/CVF (%)	46,3 ± 12,1
VEMS (% théo)	43,1 ± 19,5
Capacité inspiratoire (L)	2,3 ± 0,7
P _{imax} (cmH ₂ O)	70,3 ± 24,3
Score HAD	15,3 ± 8,3
SGRQ total (%)	53,0 ± 17,7
Distance au TM6 (m)	386,9 ± 102
Stades GOLD 2-3-4 (<i>n</i>)	7-7-7
Échelle MMRC	2 [1-3]
Index BODE	4 [2-6]
FMV quadriceps (N)	281,3 ± 119,2
FMV quadriceps (Nm)	94,0 ± 44,5
FMV quadriceps (% théo)	73,8 ± 20,6
Endurance quadriceps (s)	40,6 ± 13,7

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type ou médiane [1^{er} quartile-3^e quartile]. *n* : nombre ; H : hommes ; F : femmes ; VEMS : volume expiratoire maximal en une seconde ; CVF : capacité vitale forcée ; % théo : pourcentage de la théorique ; L : litres ; P_{imax} : pression inspiratoire maximale ; cmH₂O : centimètres d'eau ; HAD : Hospital anxiety and depression questionnaire ; SGRQ : questionnaire respiratoire Saint-George ; TM6 : test de marche de 6 minutes ; m : mètres ; GOLD : Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease ; MMRC : Modified Medical Research Council ; BODE : Body mass index, obstruction, dyspnea, exercise ; FMV : force maximale volontaire ; N : newton ; Nm : newton mètre ; s : seconde.

Tableau 2 Coefficients de corrélation intraclasse.

	ICC intra-opérateur [intervalle de confiance à 95 %]	ICC interopérateurs A1-B [intervalle de confiance à 95 %]	ICC interopérateurs A2-B [intervalle de confiance à 95 %]
Force maximale volontaire	0,98 [0,97–0,99]	0,95 [0,87–0,97]	0,96 [0,90–0,98]
Endurance	0,81 [0,64–0,90]	0,69 [0,42–0,83]	0,77 [0,56–0,87]

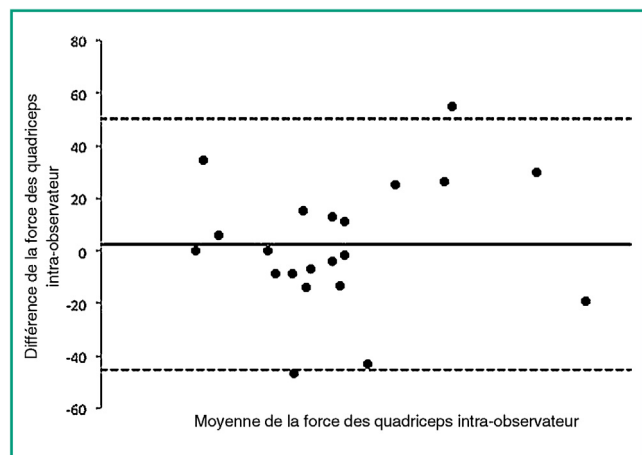


Figure 3. Analyse de Bland et Altman pour la répétabilité intra-observateur de la mesure de la force des quadriceps.

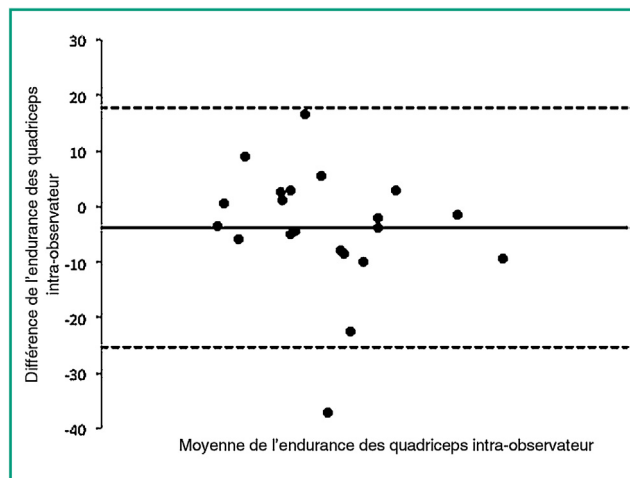


Figure 5. Analyse de Bland et Altman pour la répétabilité intra-observateur de la mesure de l'endurance des quadriceps.

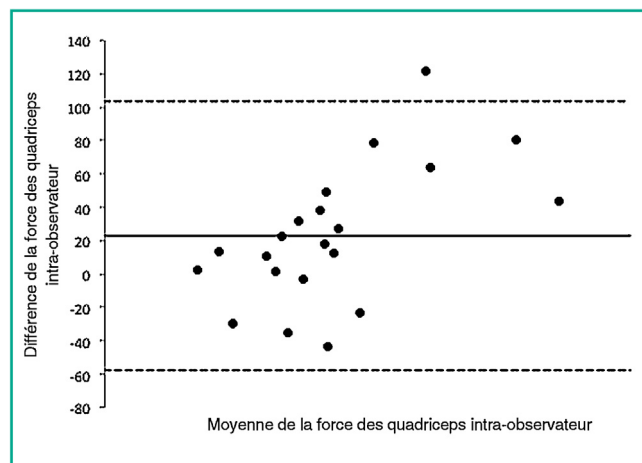


Figure 4. Analyse de Bland et Altman pour la reproductibilité interobservateurs de la mesure de la force des quadriceps.

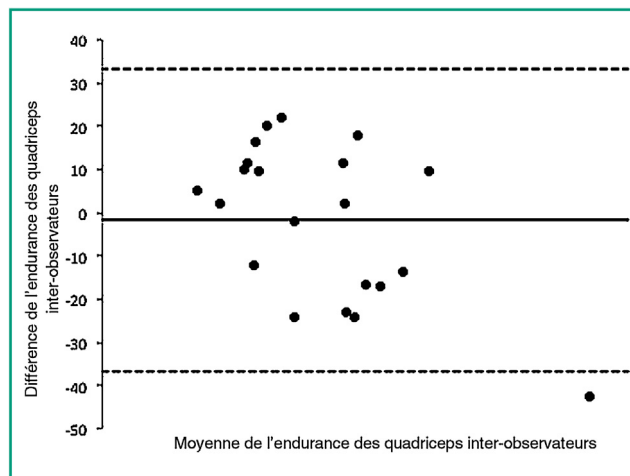


Figure 6. Analyse de Bland et Altman pour la reproductibilité interobservateurs de la mesure de l'endurance des quadriceps.

sont présentées sous formes de graphiques de Bland et Altman (Fig. 3–6).

Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer la reproductibilité inter et intra-observateur du test de la mesure de la FMV et de l'endurance du quadriceps chez des patients atteints de BPCO. Les résultats obtenus montrent une forte reproductibilité inter et intra-observateur de la mesure de la FMV des quadriceps en isométrie chez des patients atteints de BPCO, avec un dynamomètre portable. Il est également

retrouvé une forte reproductibilité intra-observateur et une reproductibilité interobservateurs modérée pour la mesure de l'endurance en isométrie des quadriceps.

Concernant la reproductibilité de la mesure de la FMV en isométrie, ces résultats confirment ceux retrouvés dans la littérature. En effet, Mathur et al. [14] rapportent une reproductibilité intra-observateur forte de la force des quadriceps en utilisant un appareil d'isocinétisme, chez des patients atteints de BPCO. Cependant, la reproductibilité interobservateurs n'était pas testée dans leur étude. Kim et Lee [19] ont montré une reproductibilité intra et interobservateurs forte de la mesure de la force du

quadriceps en utilisant un dynamomètre à main chez des sujets sains. Dans notre travail, nous avons trouvé une corrélation modérée entre la FMV et la qualité de vie d'une part ($R = -0,4547$, $p = 0,04$) et l'index BODE d'autre part ($R = -0,4706$, $p = 0,03$).

Pour la mesure de l'endurance des quadriceps en isométrique, la reproductibilité intra-opérateur est également forte, avec un ICC de 0,81. Concernant la reproductibilité interopérateurs, on obtient des ICC de 0,69 et 0,77 qui correspondent à une reproductibilité modérée. Contrairement à la FMV, nous n'avons pas retrouvé de corrélation significative entre l'endurance et la qualité de vie ($R = -0,1308$, $p = 0,57$) ou l'index BODE ($R = -0,1688$, $p = 0,46$).

À notre connaissance, il s'agit de la première étude qui évalue la reproductibilité du test d'endurance des quadriceps en isométrique dans la BPCO avec un dynamomètre manuel. Ces résultats sont en faveur de l'utilisation de ce protocole dans la pratique courante pour l'évaluation de l'endurance du quadriceps. Cette méthode présente l'avantage d'être facile à mettre en application et d'être de courte durée.

D'autres méthodes d'évaluation de la force et de l'endurance des quadriceps sont décrites dans la littérature. En pratique clinique, l'isocinétisme est considéré comme le *gold standard* [20], mais son coût rend son utilisation peu développée dans les centres de réhabilitation respiratoire ou le secteur libéral. L'endurance des quadriceps peut également être évaluée en dynamique [8], mais ce test est surtout utilisé en recherche clinique et peu en pratique clinique courante. Les auteurs d'une revue systématique traitant de la corrélation entre le dynamomètre manuel et un dynamomètre isocinétique ont montré que le dynamomètre manuel était un outil valide pour évaluer la force musculaire en pratique clinique [20].

Pour une mesure réalisée selon un protocole standardisé, la dynamométrie manuelle constitue un élément de choix [20]. Ce protocole est rapide d'exécution pour un praticien habitué à réaliser ces bilans de façon régulière. Elle est donc parfaitement adaptée à la pratique kinésithérapique, notamment en réhabilitation respiratoire, lors de bilans comparatifs. Cependant, O'Shea et al. [21], dans une étude à propos de l'utilisation du dynamomètre manuel chez des patients atteints de BPCO, concluent que le dynamomètre manuel permet de détecter un changement de force musculaire pour un groupe de patients atteints de BPCO, mais pas pour un individu seul. Concernant l'endurance des quadriceps, Ribeiro et al. [22] rapportent une différence minimale détectable de 10 % en isocinétisme.

Le protocole standardisé utilisé était celui proposé par le Groupe « muscle » de la SPLF [15]. Ce protocole présente l'avantage d'être facilement réalisable au quotidien dans toute structure de soins équipée d'un dynamomètre manuel. En effet, le reste du matériel utilisé est retrouvé dans une majorité de structures hospitalières ou libérales. Hansen et al. ont décrit une variante à la position utilisée dans notre étude proposée par le groupe muscle sans modifier la fiabilité et validité du test, qui améliorerait le confort du patient [23].

Les résultats obtenus sont particulièrement intéressants pour l'évaluation lors d'un programme de réhabilitation respiratoire. De plus, la réalisation relativement facile du test

permet son utilisation dans les différentes structures qui prennent en soins des patients atteints de BPCO pour du réentraînement à l'exercice, ce qui va dans le sens des recommandations de la Haute Autorité de santé [24]. Dans une récente revue systématique à propos de l'endurance des quadriceps dans la BPCO, Evans et al. rapportent une diminution de l'endurance des quadriceps [6]. Ils concluent qu'il est important de développer des thérapies pharmacologiques ou non afin d'améliorer l'endurance, impliquant de fait l'utilisation d'outils d'évaluation comme le dynamomètre manuel.

Un point fort de ce travail est le calcul du nombre de sujets nécessaires. Le nombre de patients ayant pris part à l'étude est suffisant selon la table de Walter et al. [17] au regard de l'objectif initial et permet ainsi d'obtenir des résultats avec une puissance suffisante pour tirer des conclusions fiables. Ce travail présente toutefois certaines limites. Le test d'endurance en isométrique en lui-même : ce test évalue-t-il uniquement l'endurance ou la fatigue ou la résistance à la fatigue ? En effet, lors d'une contraction isométrique soutenue, le flux sanguin est réduit limitant la source d'énergie aérobie, relayée par une source d'énergie anaérobie comme la glycolyse [25]. Cependant, dans sa revue systématique, Evans et al. [6] rapportent que la diminution de l'endurance des quadriceps ne présente pas de différence selon le mode d'évaluation (dynamique, isométrique à basse ou haute intensité). Une étude qui comparerait cet outil d'évaluation à la mesure de l'endurance par stimulation magnétique permettrait certainement d'apporter des réponses [26]. Enfin, il serait intéressant d'évaluer l'évolution de l'endurance des quadriceps au cours d'un programme de réhabilitation respiratoire en utilisant le test d'endurance avec dynamomètre manuel.

Conclusion

Le dynamomètre manuel est un outil qui permet une forte reproductibilité inter et intra-opérateur pour la mesure de la FMV et une reproductibilité modérée à forte pour la mesure de l'endurance. Cet outil est utilisable pour l'évaluation de la FMV et de l'endurance des quadriceps chez des patients BPCO en pratique courante et notamment dans le cadre d'un programme de réhabilitation respiratoire.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Préfaut C. BPCO : maladie générale à point de départ respiratoire. *Rev Pneumol Clin* 2005;61:23–6.
- [2] Gosker H, Hesselink MK, Duimel H, et al. Reduced mitochondrial density in the vastus lateralis muscle of patients with COPD. *Eur Respir J* 2007;30:73–9.
- [3] Caron M, Debigaré R, Dekhuijzen PNR, et al. L'atteinte du diaphragme et du quadriceps dans la BPCO : une manifestation systémique de cette maladie ? *Rev Mal Respir* 2011;28:1250–64.

- [4] Couillard A, Prefaut C. From muscle disuse to myopathy in COPD: potential contribution of oxidative stress. *Eur Respir J* 2005;26:703–19.
- [5] Coronell C, Orozco-Levi M, Mendez R, et al. Relevance of assessing quadriceps endurance in patients with COPD. *Eur Respir J* 2004;24:129–36.
- [6] Evans RA, Kaplovitch E, Beauchamp MK, et al. Is quadriceps endurance reduced in COPD? A systematic review. *Chest* 2015;147:673–84.
- [7] Robles PG, Mathur S, Janaudis-Ferreira T, et al. Measurement of peripheral muscle strength in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2011;31:11–24.
- [8] Maltais F, Decramer M, Casaburi R, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: update on limb muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2014;189:e15–62.
- [9] Swallow EB, Reyes D, Hopkinson NS, et al. Quadriceps strength predicts mortality in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2007;62:115–20.
- [10] Allaire J, Maltais F, Doyon J-F, et al. Peripheral muscle endurance and the oxidative profile of the quadriceps in patients with COPD. *Thorax* 2004;59:673–8.
- [11] SPLF. Recommandation pour la pratique clinique. Prise en charge de la BPCO, mise à jour 2009. *Rev Mal Respir* 2010;27:522–48.
- [12] Spruit M, Singh a, Garvey SJ, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;188:e13–64.
- [13] Revill SM, Morgan MD, Singh SJ, et al. The endurance shuttle walk: a new field test for the assessment of endurance capacity in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1999;54:213–22.
- [14] Mathur S, Makrides L, Hernandez P. Test-retest reliability of isometric and isokinetic torque in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Physiotherapy Can* 2004;56:94–101.
- [15] Bachasson D, Villiot-Danger E, Verges S, et al. Mesure ambulatoire de la force maximale volontaire isométrique du quadriceps chez le patient BPCO. *Rev Mal Respir* 2014;31:765–70.
- [16] Troisier O. Le travail statique intermittent en rééducation : muscle et réadaptation. Problème en médecine de rééducation. Masson; 1988.
- [17] Walter SD, Eliasziw M, Donner A. Sample size and optimal designs for reliability studies. *Stat Med* 1998;17:101–10.
- [18] Shrout P. Measurement reliability and agreement in psychiatry. *Stat Methods Med Res* 1998;7:301–17.
- [19] Kim S, Lee YS. The intra- and inter-rater reliabilities of lower extremity muscle strength assessment of healthy adults using a hand held dynamometer. *J Phys Ther Sci* 2015;27:1799–801.
- [20] Stark T, Walker B, Phillips JK, et al. Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PMR* 2011;3:472–9.
- [21] O'Shea SD, Taylor NF, Paratz JD. Measuring muscle strength for people with chronic obstructive pulmonary disease: retest reliability of hand-held dynamometry. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:32–6.
- [22] Ribeiro F, Lépine P, Garceau-Bolduc C, et al. Test-retest reliability of lower limb isokinetic endurance in COPD: a comparison of angular velocities. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2015;10:1163–72.
- [23] Hansen EM, McCartney CN, Sweeney RS, et al. Hand-held dynamometer positioning impacts discomfort during quadriceps strength testing: a validity and reliability study. *Int J Sports Phys Ther* 2015;10:62–8.
- [24] Haute Autorité de santé. Guide du parcours de soins « bronchopneumopathie chronique obstructive »; 2014.
- [25] Sjogaard G, Savard G, Juel C. Muscle blood-flow during isometric activity and its relation to muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57:327–35.
- [26] Bachasson D, Temesi J, Bankole C, et al. Assessment of quadriceps strength, endurance and fatigue in FSHD and CMT: benefits and limits of femoral nerve magnetic stimulation. *Clin Neurophysiol* 2014;125:396–405.