

Luciana Vieira¹
Martim Bottaro²
Rodrigo Celes²
Carlos Alberto de Assis Viegas³
César Augusto Melo e Silva¹

Avaliação muscular isocinética do quadríceps em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crónica

Isokinetic muscle evaluation of quadriceps in patients with chronic obstructive pulmonary disease

Recebido para publicação/received for publication: 02.06.10

Aceite para publicação/accepted for publication: 08.06.10

Resumo

Contexto: A debilidade muscular tem impacto significativo na qualidade de vida do indivíduo com doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC), correlacionando-se com o número de exacerbações e a mortalidade. Medir a força muscular torna-se, portanto, de extrema importância. A ausência de padronização quanto ao número de séries e intervalo de recuperação no protocolo de avaliação isocinética pode gerar resultados díspares, dificultando a

Abstract

Rationale: Muscle debility has a significant impact on health-related quality of life in subjects with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and is correlated to exacerbation and even mortality. Assessing muscle strength is extremely relevant. Lack of standardisation in numbers of sets and rest interval in isokinetic test protocol can lead to distinct results, making com-

¹ Fisioterapeuta, Centro de Fisioterapia, Hospital Universitário de Brasília/Physiotherapist, Physiotherapy Unit, Hospital Universitário de Brasília

² Educador físico, Programa de Graduação em Educação Física, Universidade de Brasília/Physical Educator, Graduate Programme in Physical Education, Universidade de Brasília

³ Médico, Serviço de Pneumologia, Hospital Universitário de Brasília/Physician, Pulmonology Unit, Hospital Universitário de Brasília

Trabalho realizado no Serviço de Pneumologia e no Centro de Fisioterapia do Hospital Universitário de Brasília e na Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília/Work undertaken at the Pulmonology Unit and Physiotherapy Unit, Hospital Universitario de Brasília and School of Physical Education, Universidade de Brasília.
Chefe do Serviço de Pneumologia/Head, Pulmonology Unit: Verônica Amado
Chefe do Centro de Fisioterapia/Head, Physiotherapy Unit: César Augusto Melo e Silva

Hospital Universitário de Brasília
SGAN 605 Avenida L2 Norte
CEP 70840-901
Brasília/DF – Brasil

Correspondência/Correspondence to:
SQS 402 Bloco R Apartamento 301 Asa Sul
CEP: 70236-180 – Brasília/DF – Brasil
Telefone: 55-61-35327956
e-mail: lutavernard@yahoo.com.br

compreensão e a comparação a entre os estudos. **Objetivo:** Análise do efeito de duas séries e três intervalos de repouso na medida de força isocinética do quadríceps, a fim de identificar o protocolo adequado para a realização do teste. **Métodos:** Indivíduos com DPOC grave ou muito grave realizaram três testes isocinéticos para avaliação da musculatura extensora do joelho, à velocidade angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$, com intervalos de recuperação de 30, 60 ou 120 segundos. Cada teste consistiu em duas séries de cinco repetições, nas quais foram mensurados pico de torque, trabalho total e índice de fadiga. **Resultados:** Nos 20 indivíduos estudados ($66,1 \pm 7,4$ anos, $70 \pm 10,8$ kg, $167,4 \pm 6,2$ cm, VEF_1 $36,5 \pm 10,1\%$ do predito) não houve diferença significativa nos valores de pico de torque, trabalho total e índice de fadiga, independente do número de séries ou da duração do intervalo de recuperação entre elas. **Conclusão:** Em indivíduos com DPOC grave ou muito grave, a força muscular do quadríceps pode ser avaliada por meio de protocolo isocinético composto por uma série de contrações com cinco repetições; se forem realizadas duas séries, 30 segundos de intervalo entre elas é suficiente para garantir a recuperação muscular.

Rev Port Pneumol 2010; XVI (5): 717-736

Palavras-chave: Doença pulmonar obstrutiva crônica, força muscular, teste isocinético, padrões de referência.

prehension and comparisons among studies difficult. **Aim:** To analyse the effect of two sets and three different rest intervals on isokinetic strength measurement of quadriceps tests, in order to define the adequate test protocol. **Methods:** Subjects with severe or very severe COPD underwent three isokinetic tests to evaluate knee extensor muscle strength, at an angular velocity of $60^{\circ}\cdot s^{-1}$, with rest intervals of 30, 60 and 120 seconds. Each test consisted of two sets of five repetitions, during which peak torque, total work and fatigue index were measured. **Results:** In 20 studied subjects (66.1 ± 7.4 years, 70 ± 10.8 kg, 167.4 ± 6.2 cm, FEV_1 $36.5 \pm 10.1\%$), there were no significant differences in peak torque, total work and fatigue index, independent of number of sets or rest interval between sets. **Conclusion:** In subjects with severe or very severe COPD, quadriceps muscle strength can be evaluated by an isokinetic protocol with one set of five repetitions. If two sets are performed, a rest interval of 30 seconds is enough to ensure muscle recovery between sets.

Rev Port Pneumol 2010; XVI (5): 717-736

Key-words: Chronic obstructive pulmonary disease, muscle strength, isokinetic test, reference standards.

Introdução

A doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é uma enfermidade respiratória prevenível e tratável, com efeitos extrapulmonares significativos que podem contribuir para a gravidade dos doentes^{1,2}. A intolerância ao exercício é manifestação comum na DPOC, em função do distúrbio respiratório e da disfunção muscular esquelética periférica³⁻⁵. Embora o

Introduction

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is a respiratory disease which is both preventable and treatable and one with significant extrapulmonary effects liable to add to patients' severity^{1,2}. Exercise intolerance is a common manifestation in COPD, a result of the respiratory disturbance and peripheral musculoskeletal dys-

problema essencial na obstrução crónica ao fluxo aéreo seja a doença pulmonar, a debilidade muscular tem impacto significativo na qualidade de vida desses indivíduos⁶⁻⁸, relacionando-se com o número de exacerbações da doença⁹, o aumento dos gastos com internamentos¹⁰ e a maior mortalidade¹¹.

Um factor importante envolvido na limitação física é a disfunção da musculatura periférica, caracterizada por anormalidades estruturais (diminuição da massa muscular e relação capilaridade/mitocôndria, mudanças no tipo e tamanho das fibras musculares e redução das enzimas oxidativas)¹², funcionais (redução da força e da resistência musculares)¹³ e da bioenergética muscular (redução do consumo de oxigénio, aumento do nível de lactato e diminuição do pH)⁵. Os músculos esqueléticos periféricos sofrem alterações por uma combinação de factores, incluindo: hipercapnia, *stress* oxidativo, uso prolongado de corticosteróides, hipoxemia, depleção nutricional, inflamação sistémica e atrofia muscular por desuso¹⁴⁻¹⁶. Além disso, a DPOC é mais prevalente em idosos^{1,2}, fazendo com que as alterações associadas ao envelhecimento, como atrofia do tecido muscular – sarcopenia – e perda de fibras musculares¹⁷, se somem à disfunção muscular esquelética causada pela doença.

A análise da força muscular é de extrema importância para compreender a capacidade funcional^{18,19}. Portanto, para determinar as habilidades e potenciais limitações de um indivíduo, é essencial uma avaliação precisa do desempenho muscular. Neste sentido, o dinamómetro isocinético tem sido muito utilizado em pesquisas e na prática clínica para avaliar indivíduos com DPOC²⁰⁻²⁹. A sua principal vantagem em relação às outras mensurações está na manutenção de uma velocidade angu-

function³⁻⁵. While the essential problem in chronic airflow obstruction is lung disease, muscle debility has a significant impact on these patients' quality of life⁶⁻⁸, in terms of the number of disease exacerbations⁹, increased hospitalisation costs¹⁰ and higher mortality¹¹.

An important element of physical limitation is peripheral muscle dysfunction. This is hallmarked by structural (reduced muscular mass and capillaries/mitochondria relationship, changed type and size of muscle fibres and reduced oxidative enzymes)¹², functional (reduced muscle strength and resistance)¹³ and muscle bioenergetics (reduced oxygen consumption, increased lactate level and decreased pH) abnormalities⁵. Peripheral musculoskeletal muscles undergo changes brought on by a combination of factors, including hypercapnia, oxidative stress, prolonged corticosteroid use, hypoxaemia, nutritional depletion, systemic inflammation and muscular atrophy due to disuse¹⁴⁻¹⁶. Further, COPD is more commonly found in the elderly^{1,2}, meaning the changes which are part and parcel of aging, such as muscular tissue atrophy – sarcopaenia – and loss of muscle fibres¹⁷, make up the musculoskeletal dysfunction of the disease.

It is important to study dynamic muscle function in order to understand functional capacity^{18,19}. Thus, a precise assessment of muscle performance is essential for mapping an individual's capacities and likely limitations. As such, isokinetic muscle evaluation has been widely used in research and clinical practice in evaluating COPD patients²⁰⁻²⁹. Its main advantage over other measurements lies in the maintenance of a constant angular velocity throughout the

lar constante ao longo da amplitude de movimento, o que possibilita maior precisão e reprodutibilidade da medida³⁰⁻³². No entanto, inúmeros fatores precisam ser controlados durante um protocolo de teste isocinético para evitar resultados inválidos, entre eles a forma de execução do teste, a escolha das variáveis medidas, o adequado posicionamento e estabilização, além do número de séries e do intervalo de repouso entre elas³¹.

As principais variáveis analisadas num teste isocinético são o pico de torque e o trabalho total; o primeiro é um excelente indicador da máxima força produzida por um indivíduo, enquanto o segundo revela a capacidade de um indivíduo produzir força ao longo da amplitude de movimento total³¹. O índice de fadiga, quando positivo, traduz a incapacidade em manter o trabalho ao longo de duas ou mais séries, e reflete queda no desempenho muscular por surgimento de fadiga³².

Para avaliação da força muscular, não há necessidade de mais de cinco repetições³¹. Se for realizada mais de uma série de medidas, a manutenção da força depende da duração do intervalo de recuperação entre as séries³³. A Associação Americana de Fisiologistas do Exercício (ASEF) recomenda um intervalo de 30 segundos num teste de força muscular com diferentes velocidades³¹. Willardson³³, em artigo de revisão, sugere que para grandes músculos, como o quadríceps, haja um repouso de 60 segundos entre séries. Parcell e colaboradores³⁴ relataram que, nos estudos que utilizaram testes isocinéticos em indivíduos saudáveis, esse intervalo variou de 15 segundos a 5 minutos, sendo 60 segundos o tempo ideal. Bottaro e colaboradores¹⁸ verificaram que, em idosos saudáveis, 30 segundos de repouso foi suficiente para permitir a recuperação entre duas séries.

whole movement, affording the measurement greater precision and reproducibility³⁰⁻³². That said, a range of factors need to be monitored during isokinetic test protocols to avoid invalid results. Among these are the way the test is performed, the variables measured, correct positioning and stabilisation, and number of sets and rest interval between them³¹.

The main variables analysed in an isokinetic test are peak torque and total work. The former is an excellent indicator of an individual's maximum strength produced while the latter shows an individual's capacity to produce strength throughout the total movement amplitude³¹. The fatigue index when positive shows incapacity to maintain work over the course of two or more sets and shows a drop-off in muscle performance when fatigue sets in³².

There is no need to have patients perform more than five repetitions to assess their muscular strength³¹. If more than one series of measurements is taken, maintaining strength depends on the length of the rest interval between sets³³. The American Society of Exercise Physiologists (ASEF) recommends a 30-second rest interval in a test of muscle strength with different velocities³¹. Willardson³³, in a review article, recommends a rest interval of 60 seconds for large muscles such as the quadriceps. Parcell *et al.*³⁴ report that in the studies which conduct isokinetic tests on healthy individuals, this interval ranges from 15 seconds to 5 minutes, with 60 seconds the ideal time. Bottaro and team¹⁸ found that a 30-second rest interval was enough to permit rest between two sets in healthy individuals.

In COPD there is no consensus on the way to perform isokinetic assessment in the

Na DPOC, não há consenso quanto à forma de realizar a avaliação isocinética do quadríceps: Dal Corso e colaboradores²⁰ mediram a força por meio de teste com duas séries de cinco repetições, separadas por dois minutos de repouso; já Malaguti e colaboradores²¹ realizaram o mesmo protocolo de duas séries de cinco repetições, mas não descreveram o intervalo de recuperação entre elas. Bourjeily-Habr e colaboradores²² e van Wetering e colaboradores²³ avaliaram cinco movimentos de extensão da coxa, sem determinar com exactidão o intervalo entre as repetições, descrito apenas como um “período adequado de repouso entre os esforços”.

Neder e colaboradores²⁴ utilizaram no seu estudo três repetições, com tempo de recuperação de um a três minutos entre elas, a mesma metodologia descrita por Borghi-Silva e colaboradores²⁵. O protocolo utilizado por Gosker e colaboradores²⁶ e Franssen e colaboradores^{27,28} para medir força muscular consistiu em 15 contracções máximas sequenciais, considerando o máximo pico de torque atingido. E ainda Janaudis-Ferreira e colaboradores²⁹ realizaram um teste com quatro repetições, sem descanso entre elas.

O quadríceps de indivíduos com DPOC é caracterizado, além da fraqueza muscular^{5,12,35}, por fatigabilidade prematura^{35,36}, devido à redução da proporção de fibras do tipo I e de enzimas oxidativas³⁷⁻³⁹, o que pode levar à necessidade de mais de uma série de medidas e de maior intervalo de recuperação entre as séries para detectar o máximo pico de torque e trabalho total. Diferentes métodos de medir a força muscular podem levar a resultados díspares, dificultando a compreensão e a comparação entre os estudos. Diante do exposto, o objectivo deste trabalho foi analisar o efeito de duas séries e três diferentes intervalos de

quadríceps. Dal Corso *et al.*²⁰ measured strength using a test with two sets of five repetitions separated by a two-minute rest interval. Malaguti and team²¹ used the same protocol of two sets of five repetitions but did not describe the rest interval between them. Bourjeily-Habr *et al.*²² and van Wetering *et al.*²³ evaluated five thigh extension movements without a precise determination of the rest interval between sets, describing only a “suitable rest interval between efforts”.

Neder and team's study²⁴ used three repetitions separated by a one to three-minute rest interval, the same methodology described by Borghi-Silva *et al.*²⁵. The protocol used by Gosker and team²⁶ and Franssen and team^{27,28} to measure muscle strength consisted of 15 sequential contractions, considered the maximum peak torque reached. Further, Janaudis-Ferreira *et al.*²⁹ performed a test with four repetitions with no rest interval in between.

The quadriceps of COPD patients are characterised both by muscle weakness^{5,12,35} and premature fatigue^{35,36}, owing to the reduced proportion of type I fibres and oxidative enzymes³⁷⁻³⁹, which could lead to the need for more than one set of measurements and a longer rest interval between sets to detect the maximum peak torque and total work. Different methods for measuring muscle strength could lead to distinct results, making comprehension and comparisons among studies difficult. As such, we sought to analyse the effect of two sets and three different rest intervals on the measurement of peak torque and total work in quadriceps, to identify the best protocol for performing isokinetic muscle strength tests in chronic respiratory disorders.

repouso na mensuração do pico de torque e trabalho total do quadríceps, a fim de identificar o protocolo adequado para realização do teste isocinético de força muscular em doentes com doença respiratória crônica.

Material e métodos

Amostra

Foi utilizada amostra de conveniência, composta por indivíduos com DPOC atendidos no serviço de Pneumologia do Hospital Universitário de Brasília. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade de Brasília (registro 083/2008). Antes de iniciar o teste, os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, que explicava objetivos, procedimentos, possíveis riscos e benefícios do estudo.

Os critérios de inclusão foram: (i) indivíduos com diagnóstico clínico de DPOC com limitação ao fluxo aéreo expiratório grave ou muito grave, de acordo com a classificação estabelecida pela *American Thoracic Society*²; (ii) cognitivo preservado para compreensão das instruções. Foram excluídos os indivíduos: (i) com alterações musculoesqueléticas ou outras enfermidades que impossibilitassem a realização do teste; (ii) que fizeram uso de corticosteróide oral ou tiveram exacerbação da doença nas últimas três semanas; (iii) com doenças cardíacas ou cerebrovasculares associadas; e (iv) submetidos a transplante pulmonar ou portadores de doença renal dialítica.

Procedimentos

Antes de realizar os testes, os indivíduos foram submetidos a avaliação médica e realiza-

Material and methods

Sample

We used a convenience sample composed of COPD patients from the Hospital Universitário de Brasília Pulmonology Unit. Our study was approved by the Ethics in Research Committee of the School of Medical Sciences of the Universidade de Brasília (registration number 083/2008). Prior to the test patients gave their informed written consent, being aware of the study's aims, procedures and possible risks and benefits.

Inclusion criteria were individuals with clinical diagnosis of COPD with severe or very severe limit to the expiratory airflow, as classified by the American Thoracic Society² and sufficient cognitive function to understand the instructions. We excluded those with musculoskeletal abnormalities or other infirmities which made it impossible to perform the test; those taking oral corticosteroids or who had disease exacerbations within the prior three weeks; those with associated heart or cerebrovascular disease; those who had undergone a lung transplant and those with dialytic kidney disease.

Procedure

The subjects underwent a medical evaluation, were weighed and measured and had had spirometry and blood gas testing prior to the tests. This is routine practice at the Hospital Universitário de Brasília Pulmonology Unit.

To analyse the effect of two sets and three different rest intervals on peak torque of knee extension, the subjects underwent

ram medidas antropométricas, espirometria e gasometria arterial, conforme rotina do Serviço de Pneumologia do Hospital Universitário de Brasília.

Para avaliar o efeito de duas séries e três diferentes intervalos de recuperação na medida do pico de torque de extensão de joelho, os indivíduos realizaram três testes isocinéticos à velocidade angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$, no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília. Cada teste consistiu em duas séries de cinco repetições de contração isocinética máxima do quadríceps femoral, com intervalos de 30, 60 ou 120 segundos entre as séries. Entre os testes, houve descanso mínimo de 30 minutos. A ordem dos testes foi definida aleatoriamente.

Os indivíduos foram instruídos a não realizar exercícios físicos extenuantes nem fazer uso de bebidas alcoólicas nas 48 horas anteriores à realização do teste, de acordo com as recomendações para realização de avaliação isocinética^{18,31}.

Aquecimento e familiarização

Como aquecimento, os indivíduos fizeram uma caminhada leve de cinco minutos em corredor plano⁴⁰. Com o intuito de se familiarizarem com o aparelho e minimizar o efeito de aprendizagem^{31,41}, realizaram uma série de dez repetições à velocidade angular de $300^{\circ}\cdot s^{-1}$, seguida por uma série de duas repetições à velocidade angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ (velocidade real do teste).

Avaliação muscular isocinética do quadríceps

O pico de torque isocinético foi mensurado por meio do Biodex System 3 isokinetic dy-

three isokinetic tests at an angular velocity of $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ at the Exercise Physiology Laboratory at the School of Physical Education, Universidade de Brasília. Each test consisted of two sets of five repetitions of maximum isokinetic contraction of the femoral quadriceps, with rest intervals of 30, 60 and 120 seconds between sets. There was a minimum rest period of 30 minutes between tests. The tests were conducted in a random order.

The subjects were instructed not to undergo strenuous physical activity or drink alcohol in the 48 hours prior to the test, in line with the recommendations for performing isokinetic evaluation^{18,31}.

Warm up and familiarisation

Subjects took a moderate five-minute walk along a flat corridor to warm up⁴⁰. To familiarise themselves with the equipment and smooth the learning curve^{31,41}, they performed a set of ten repetitions at an angular velocity of $300^{\circ}\cdot s^{-1}$, followed by a set of 2 repetitions at an angular velocity of $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ (real test velocity).

Isokinetic muscle assessment of quadriceps

The isokinetic peak torque was measured using a Biodex System 3 isokinetic dynamometer (Biodex Medical Systems Inc., Shirley, NY, 2002). Subjects were seated in a chair, with the rotation axis of the dynamometric arm aligned with the rotation axis of the dominant knee. The thigh, pelvis and trunk were fixed to the chair using seat belts to prevent additional bodily movement which might impact on strength production. The

namometer (Biodex Medical Systems Inc., Shirley, NY, 2002). Os indivíduos sentaram-se numa cadeira, com o eixo de rotação do braço do dinamómetro orientado com o eixo de rotação do joelho dominante. A coxa, a pelve e o tronco foram fixados à cadeira por cintos de segurança, a fim de prevenir movimento corporal adicional que pudesse influenciar a produção de força. O peso do membro a ser testado foi calculado, para correção da gravidade. O posicionamento seguiu as recomendações de Stumbo e colaboradores⁴². A mesma posição foi mantida nos três testes.

Os indivíduos foram instruídos a estender e flexionar completamente o joelho e a trabalhar ao máximo durante cada série de exercícios. Encorajamento verbal intenso e *feedback* visual – por meio do monitor do computador do Biodex – foram fornecidos durante todo o teste⁴³. Todos os procedimentos foram realizados pelo mesmo investigador. A calibração do dinamómetro foi feita de acordo com as especificações do fabricante, antes do início de cada sessão de testes.

Análise estatística

O teste de Shapiro-Wilk foi realizado para testar a normalidade da distribuição dos dados. As variáveis antropométricas, espirométricas e gasométricas apresentaram distribuição paramétrica e foram descritas como média (\pm desvio-padrão). Os valores de pico de torque, o trabalho total e o índice de fadiga, por apresentarem distribuição não paramétrica, estão expressos na forma de mediana (intervalo interquartil Q1-Q3). De cada série de cinco repetições, consideraram-se para análise os maiores valores de pico de torque e o

weight of the limb being tested was calculated to correct for gravity. The position followed the recommendations of Stumbo *et al.*⁴². The same position was maintained for the three tests.

The subjects were instructed to completely extend and flex their knee and work to the maximum during each set of repetitions. Intense verbal encouragement and visual feedback via a Biodex computer were provided during the test⁴³. All tests were performed by the same researcher. Calibration of the dynamometry was done in line with manufacturer's specifications prior to each test session.

Statistical analysis

The Shapiro-Wilk test was performed to test the normal distribution of the data. Height and weight, spirometry and blood gas variables presented a parametric distribution and were given as means (\pm standard-deviation). Peak torque, total work and fatigue index values presented a non-parametric distribution and so were expressed as medians (Q1-Q3 interquartile interval). For each set of five repetitions, we analysed the highest peak torque and total work values reached. The variation in peak torque and total work in the 6 measurements – first and second series with 30, 60 and 120 seconds intervals – were checked using the Kruskal-Wallis test.

To identify the variation in peak torque and total work between the two series measured, with different rest intervals, we used the Mann-Whitney test for paired samples. We used the Kruskal-Wallis test to compare the fatigue index in the three intervals

o trabalho total atingidos. A variação no pico de torque e no trabalho total nas seis medidas – primeira e segunda séries com 30, 60 ou 120 segundos de intervalo – foi verificada pelo teste de Kruskal-Wallis.

A fim de identificar a variação no pico de torque e no trabalho total entre duas séries de medida, com diferentes intervalos de repouso, utilizou-se o teste de Mann-Whitney para amostras emparelhadas. Já a comparação dos índices de fadiga, nos três intervalos estudados, foi realizada pelo teste de Kruskal-Wallis. O nível de significância estabelecido foi de 5%. O *software* utilizado para análise estatística foi o SPSS versão 16.0 (Chicago, IL, EUA) para Mac OSX.

Resultados

Para este estudo, foram avaliados 20 indivíduos – 17 homens e 3 mulheres – com diagnóstico clínico de DPOC com obstrução ao fluxo aéreo expiratório grave ou muito grave ($66,1 \pm 7,4$ anos, $70 \pm 10,8$ kg, $167,4 \pm 6,2$ cm, VE_{M50} $36,5 \pm 10,1\%$ do previsto), atendidos no serviço de Pneumologia do Hospital Universitário de Brasília no período de Janeiro de 2008 a Fevereiro de 2009. Nenhum dos indivíduos fazia uso de oxigenoterapia domiciliar contínua. As características antropométricas, espirométricas e gasométricas estão detalhadas no Quadro I.

Os valores de pico de torque, trabalho total e índice de fadiga dos indivíduos estudados estão apresentados no Quadro II. À velocidade angular de $60^\circ \cdot s^{-1}$, o pico de torque identificado em todas as medidas – análise intergrupo – não apresentou diferença significativa ($p=0,957$; Fig. 1). Ao comparar a primeira com a segunda série – análise intragrupo, o pico de torque não foi diferente em

studied. We set a 5% level of significance. We used the SPSS version 16.0 (Chicago, IL, USA) for Mac OSX software for statistical analysis.

Results

This study evaluated 20 individuals, 17 men and 3 women, diagnosed with COPD with severe or very severe obstruction of the airflow (66.1 ± 7.4 years, 70 ± 10.8 kg, 167.4 ± 6.2 cm, FEV_1 $36.5 \pm 10.1\%$ of that predicted), patients at the Hospital Universitário de Brasília Pulmonology Unit from January 2008 to February 2009. No subject was prescribed continuous domiciliary oxygen therapy. Height and weight, and spirometry and blood gas analysis details are given in Table I.

Peak torque, total work and fatigue index values are given in Table II. The angular velocity of $60^\circ \cdot s^{-1}$, the peak torque identified in all measurements – intergroup analysis – did not present significant difference ($p=0.957$; Fig. 1). In comparing the first and second series – intragroup analysis – the peak torque did not differ in any rest interval analysed ($p=0.135$, $p=0.465$ and $p=0.304$ for 30, 60 and 120 seconds, respectively). Equally so, total work did not differ in comparing all measurements ($p=0.895$; Fig. 2), nor between sets ($p=0.629$, $p=0.507$ and $p=0.144$ for 30, 60 and 120 seconds, respectively).

The fatigue index for the different rest intervals was calculated using the Ernesto *et al.*⁴¹ formula, using the total work values of the two sets:

$$\text{Fatigue index (\%)} = \frac{(\text{total work in set 1} - \text{total work in set 2}) \times 100}{\text{total work in set 1}}$$

Quadro I – Características antropométricas, espirométricas e gasométricas dos indivíduos estudados (n=20).

Características	Média ± DP	Mínimo	Máximo
Idade (em anos)	66.1 ± 7.4	47	80
Peso (em kg)	70 ± 10.8	52	91.4
Altura (em cm)	167.4 ± 6.2	151	176
IMC (em kg/m ²)	24.9 ± 3.3	18.5	29.7
CVF (em % predito)	75.2 ± 13.5	37	92
VEF1 (em % predito)	36.5 ± 10.1	21	49
VEF1/CVF	0.45 ± 0.11	0.25	0.64
PaO ₂ (em mmHg)	64.5 ± 6.8	53	75
PaCO ₂ (em mmHg)	32.2 ± 5.5	27	43

Dados expressos em média ± desvio-padrão; IMC: índice de massa corporal; CVF: capacidade vital forçada; VEF₁: volume expiratório forçado no primeiro segundo; VEF₁/CVF: relação entre volume expiratório forçado no primeiro segundo e capacidade vital forçada; PaO₂: pressão arterial de oxigénio em ar ambiente; PaCO₂: pressão arterial de gás carbónico em ar ambiente

Table I – Height, weight, spirometry and blood gas analysis data in the subjects studied (n=20)

Data	Mean ± SD	Minimum	Maximum
Age (years)	66.1 ± 7.4	47	80
Weight (Kg)	70 ± 10.8	52	91.4
Height (cm)	167.4 ± 6.2	151	176
BMI (Kg/m ²)	24.9 ± 3.3	18.5	29.7
FVC (% of predicted)	75.2 ± 13.5	37	92
FEV1 (% of predicted)	36.5 ± 10.1	21	49
FEV1/FVC	0.45 ± 0.11	0.25	0.64
PaO ₂ (mmHg)	64.5 ± 6.8	53	75
PaCO ₂ (mmHg)	32.2 ± 5.5	27	43

Data given in means ± standard deviation; BMI: body mass index; FVC: forced vital capacity; FEV₁: forced expiratory volume in one second; FEV₁/FVC: forced expiratory volume in one second and forced vital capacity ratio; PaO₂: partial pressure of arterial oxygen; PaCO₂: partial pressure of carbon dioxide

nenhum dos intervalos de recuperação analisados (p=0,135, p=0,465 e p=0,304 para 30, 60 ou 120 segundos, respectivamente). Da mesma forma, o trabalho total não foi diferente ao comparar todas as medidas (p=0,895; Fig. 2), nem entre as séries (p=0,629, p=0,507 e p=0,144 para 30, 60 ou 120 segundos, respectivamente). O índice de fadiga para os diferentes intervalos de repouso foi calculado por meio da fórmula utilizada por Ernesto e colaborado-

In comparing the three rest times, the fatigue index was similar in the different rest times (p=0.125).

Discussion

In the individuals studied there was no significant difference in the peak torque values, total work and fatigue index, regardless of the number of sets or length of rest interval between them.

AVALIAÇÃO MUSCULAR ISOCINÉTICA DO QUADRÍCEPS EM INDIVÍDUOS COM DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA

Luciana Vieira, Martim Bottaro, Rodrigo Celes, Carlos Alberto de Assis Viegas, César Augusto Melo e Silva

Quadro II – Pico de torque (em newtons por metro), trabalho total (em joules) e índice de fadiga (em percentagem) em duas séries com cinco repetições cada, à velocidade angular de $60^\circ \cdot s^{-1}$, com intervalo de repouso de 30, 60 ou 120 segundos entre as séries (n=20)

	30s			60s			120s			p†
	Série 1	Série 2	p*	Série 1	Série 2	p*	Série 1	Série 2	p*	
PT	99.9 (90.5-142.5)	101.1 (89.5-138.8)	0.135	98.6 (91.2-127.8)	102.8 (95.5-130.0)	0.465	99.6 (91.8-128.6)	100.3 (92.9-132.4)	0.304	0.957
TT	104.9 (95.0-150.4)	107.0 (90.2-156.3)	0.629	107.1 (99.1-140.6)	114.0 (103.2-142.7)	0.507	102.9 (96.1-136.9)	103.5 (95.8-156.7)	0.144	0.895
IF	0.2 (-1.9-3.0)		-	-2.5 (-4.8-0.5)		-	-0.6 (-3.3-1.4)		-	0.125

Dados expressos em mediana (intervalo interquartil Q1-Q3); PT: pico de torque; TT: trabalho total; IF: índice de fadiga; *: p valor intra-grupo; †: p valor inter-grupo

Table II – Peak torque (Newtons per metre), total work (joules) and fatigue index (percentage) in two sets with five repetitions each, angular velocity $60^\circ \cdot s^{-1}$, with rest intervals of 30, 60 and 120 seconds between sets (n=20)

	30s			60s			120s			p†
	Set 1	Set 2	p*	Set 1	Set 2	p*	Set 1	Set 2	p*	
PT	99.9 (90.5-142.5)	101.1 (89.5-138.8)	0.135	98.6 (91.2-127.8)	102.8 (95.5-130.0)	0.465	99.6 (91.8-128.6)	100.3 (92.9-132.4)	0.304	0.957
TT	104.9 (95.0-150.4)	107.0 (90.2-156.3)	0.629	107.1 (99.1-140.6)	114.0 (103.2-142.7)	0.507	102.9 (96.1-136.9)	103.5 (95.8-156.7)	0.144	0.895
IF	0.2 (-1.9-3.0)		-	-2.5 (-4.8-0.5)		-	-0.6 (-3.3-1.4)		-	0.125

Data given in medians (Q1-Q3 interquartile interval); PT: peak torque; TT: total work; IF: fatigue index; *: intragroup p value; †: intergroup p value

res⁴¹, a partir dos valores de trabalho total nas duas séries:

$$\text{Índice de fadiga (\%)} = \frac{(\text{trabalho total na série 1} - \text{trabalho total na série 2}) \times 100}{\text{trabalho total na série 1}}$$

Ao comparar os três tempos de recuperação, o índice de fadiga foi similar nos diferentes intervalos de recuperação (p=0,125).

Discussão

Nos indivíduos estudados, não houve diferença significativa nos valores de pico de torque, trabalho total e índice de fadiga, independente do número de séries ou da duração do intervalo de recuperação entre elas.

The way in which muscle strength is measured in an isokinetic test has to be standardised. This would ensure that the value gleaned is accurate and allow the results of different studies to be compared. The angular velocity of $60^\circ \cdot s^{-1}$ used in this study is ideal for evaluating muscle strength as it is the one in which the greatest peak torque is obtained^{18,31}. Siqueira and team⁴⁴ evaluated subjects at velocities of $60^\circ \cdot s^{-1}$ and $240^\circ \cdot s^{-1}$, identifying that the recruitment of motor units is greater at lower angular velocities. This adds to a better muscle performance, but also generates a greater accumulation of metabolites. Another important factor in performing isokinetic tests is the number of repetitions.



Fig. 1 – Gráfico do pico de torque (em newtons por metro) em duas séries com cinco repetições cada, à velocidade angular de $60^\circ \cdot s^{-1}$, com intervalo de repouso de 30, 60 ou 120 segundos entre as séries (n=20)

Fig. 1 – Graph of peak torque (newtons per metre) in two sets of five repetitions each, angular velocity $60^\circ \cdot s^{-1}$, rest intervals of 30, 60 and 120 seconds between sets (n=20)



Fig. 2 – Gráfico do trabalho total (em joules) em duas séries com cinco repetições cada, à velocidade angular de $60^\circ \cdot s^{-1}$, com intervalo de repouso de 30, 60 ou 120 segundos entre as séries (n=20)

Fig. 2 – Graph of total work (joules) in two sets of five repetitions each, angular velocity $60^\circ \cdot s^{-1}$, rest intervals of 30, 60 and 120 seconds between sets (n=20)

A maneira com que a força muscular é mensurada em um teste isocinético deve ser padronizada; esse procedimento assegura que o valor obtido seja preciso, além de permitir a comparação entre resultados de diferentes estudos. A velocidade angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$, utilizada neste estudo, é ideal para avaliar força muscular, pois é nela que se obtém o maior pico de torque^{18,31}. Siqueira e colaboradores⁴⁴ avaliaram indivíduos às velocidades de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ e $240^{\circ}\cdot s^{-1}$, identificando que o recrutamento das unidades motoras é maior em velocidades angulares mais baixas; isto contribui para melhor *performance* muscular, mas também gera maior acúmulo de metabólitos.

Outro factor importante para realização do teste isocinético é o número de repetições. Medidas realizadas com múltiplas repetições atingem maior pico de torque, devido ao estado de pré-activação neural³¹. A activação neural prévia prepara o membro para a geração de força, o que leva a maior produção de torque muscular. A escolha do número de repetições é determinada pela informação que se deseja obter; para testes de força, a recomendação da ASEP é que se realizem até cinco repetições por série³¹, estando de acordo com o protocolo utilizado no presente estudo e contrário à metodologia descrita por outros autores²⁶⁻²⁸.

A realização de mais de uma repetição permite a ocorrência de potencialização pós-activação, a ampliação da força decorrente de uma actividade muscular voluntária prévia⁴⁵. O mecanismo considerado principal responsável pela ocorrência deste fenómeno é a fosforilação da miosina reguladora de cadeia leve, que faz com que a interacção actina-miosina se torne mais sensível ao cálcio libertado pelo retículo sarcoplasmático; em

Measurements taken with multiple repetitions hit a higher peak torque as a result of the neural pre-activation stage³¹. Prior neural activation prepares the limb to generate strength, which leads to a greater production of muscle torque. The choice of number of repetitions is determined by the information sought. For tests of strength, the ASEP recommend performing up to five repetitions per set³¹, in line with the protocol used in our study and unlike the methodology described by other authors²⁶⁻²⁸.

Performing more than one repetition allows for post-activation potentiation, i.e. the amplification of strength arising from a prior voluntary muscular activity⁴⁵. The mechanism felt to be the main one responsible for this phenomenon is the phosphorylation of the myosin regulatory light chains, which makes the actin-myosin interaction more sensitive to the calcium released by the sarcoplasmic reticulum. This increased sensitivity to calcium means a greater number of cross bridges become active, generating a greater muscular torque than that seen in the non-potentiation stage⁴⁶. It has also been suggested that the amplification of muscle strength produced in this event is due to a longer duration of actin-myosin interaction in the cross bridge mechanism⁴⁷. If more than one set is performed, the rest interval between them can be a decisive factor to ensure that the maximum peak torque is measured¹⁸. This must be sufficient for adequate recovery of energy sources, for example adenosine triphosphate (ATP) and phosphocreatine, in addition to allowing elimination of bioproducts of muscle contraction which lead to fatigue, such as hydrogen ions, thus reestablishing production of muscle strength³³.

decorrência dessa maior sensibilidade ao cálcio, um número maior de pontes cruzadas passa a ser ativado, gerando um torque muscular superior ao observado no estado não potencializado⁴⁶. Também se sugere que a ampliação da força muscular produzida nesse evento se deva a uma maior duração da interação actina-miosina no mecanismo das pontes cruzadas⁴⁷.

Se forem realizadas mais de uma série, o intervalo de repouso entre elas pode ser um factor decisivo para assegurar que o máximo valor de pico de torque seja mensurado¹⁸. Ele deve ser suficiente para a adequada recuperação das fontes de energia – por exemplo, adenosina-trifosfato (ATP) e fosfocreatina, além de permitir a eliminação dos bioprodutos da contração muscular que levam à fadiga – como os iões de hidrogénio, restabelecendo assim a produção de força muscular³³.

A fadiga muscular pode ser definida como declínio na produção de força muscular máxima, sendo caracterizada por redução na capacidade de trabalho⁴⁸. Inúmeros factores contribuem para a fadiga, entre eles: (i) degradação de fosfocreatina; (ii) redução do glicogénio muscular e hepático; (iii) acidose intramuscular originada pelo exercício⁴⁹. A demanda de ATP num exercício de alta intensidade é inicialmente suprida pelos sistemas dos fosfagénios e glicolítico⁵⁰.

A perda de massa muscular em doenças crónicas como a DPOC ocorre de forma lenta¹. A função e a estrutura muscular estão alteradas, devido principalmente à conversão de fibras do tipo I em IIx e à atrofia das fibras do tipo IIx^{15,52}. Essas anormalidades implicam em redução da força e da resistência muscular e estão relacionadas com a função respiratória, intolerância ao exercício, utilização de recursos de saúde e capacidade fun-

Muscle fatigue can be defined as decline in maximum muscle strength, characterised by reduced work capacity⁴⁸. A series of factors contribute to fatigue, among which are phosphocreatine degradation, reduced muscular and hepatic glycogen and exercised-induced intramuscular acidosis⁴⁹. The need for ATP in high intensity exercise is initially suppressed by the phosphagen and glycolytic systems⁵⁰.

The loss of muscle mass in chronic diseases such as COPD is a slow-onset process¹. Muscle function and structure are altered, mainly owing to the conversion of type I fibres into IIx and the atrophy of type IIx fibres^{15,52}. These abnormalities bring about reduced muscle strength and resistance and are related with lung function, exercise intolerance, use of healthcare resources and functional capacity⁵³. Muscle loss has a deep impact on morbidity, including greater hospital readmission following exacerbations and a greater need for ventilatory support^{1,6,12}. It is also an important determinant of mortality, independent of lung function, smoking and body mass index^{11,54}.

The deficit in voluntary activation can contribute to the reduced strength seen in patients with COPD²⁵. Vivotzhev *et al.*⁵⁵ found a smaller fraction of recruitment to the quadriceps than seen in chronic respiratory disorders and healthy controls, showing that the deficit in voluntary activation can contribute to muscle weakness in patients with severe COPD. Haccoun *et al.*⁵⁶ found lesser levels of muscle work in individuals with COPD than in controls during a 30-second ergo-cycle test.

The metabolic changes which onset during fatigue affect the production of strength⁴⁸.

cional⁵³. A perda muscular tem profundos efeitos na morbidade, incluindo maior readmissão após exacerbações e maior necessidade de suporte ventilatório^{1,6,12}; é também um importante determinante de mortalidade, independente da função pulmonar, tabagismo e índice de massa corporal^{11,54}.

O déficit na activação voluntária pode contribuir para a redução de força em indivíduos com DPOC²⁵. Vivodtzev e colaboradores⁵⁵ observaram menor fracção de recrutamento do quadríceps quando compararam doentes respiratórios crónicos e controlos saudáveis, mostrando que o déficit na activação voluntária pode contribuir para a fraqueza muscular nos indivíduos com DPOC grave. Haccoun e colaboradores⁵⁶ encontraram menores níveis de trabalho muscular em indivíduos com DPOC comparados com controlos durante um teste de 30 segundos em cicloergómetro. As mudanças metabólicas que acontecem durante a fadiga afectam a produção de força⁴⁸. O processo inicial que leva à fadiga muscular resulta da redução na produção anaeróbica de ATP, ou do aumento no acúmulo de adenosina-difosfato (ADP) causado pela ausência de fosfocreatina e pela diminuição na taxa de hidrólise do glicogénio^{49,51}. O desempenho muscular e as respostas metabólicas podem ser afectadas pelo tempo de recuperação entre duas séries de medidas¹⁸. Assim, a manutenção da força num dado intervalo de repouso é uma variável que pode ser utilizada para detectar a magnitude da ressíntese dos suprimentos fosfagénicos de energia e da glicólise anaeróbica⁴¹.

Este é o primeiro estudo que avalia a influência do intervalo de repouso na medida do pico de torque em indivíduos com DPOC. Nos indivíduos estudados, 30 segundos foi suficiente para garantir a recuperação mus-

The initial process which leads to muscle fatigue results in reduced anaerobic ATP production, or to increased adenosine diphosphate (ADP) accumulation caused by the lack of phosphocreatine and reduced rate of glycogen hydrolysis^{49,51}. Muscle performance and metabolic responses can be affected by the rest time between two sets of measurements¹⁸. Thus maintained strength in a given rest interval is a variable which can be used to detect the magnitude of re-synthesis of the suppressed phosphagens of energy and anaerobic glycolysis⁴¹.

This is the first study to evaluate the recovery interval in terms of peak torque in COPD patients. In the individuals studied, 30 seconds was sufficient to guarantee muscle recovery between two sets of an isokinetic test. In comparing intervals of 30, 60 and 90 seconds in evaluating healthy individuals, Bottaro *et al.*¹⁸ found the same result. In the Parcell *et al.* study³⁴ in healthy young individuals, a 60-second interval was necessary to maintain peak torque between two sets. These authors, however, evaluated intervals of 15, 60 and 180 seconds, so it was not possible to determine if 30 seconds was enough time.

To explain the suitable recovery of muscle strength in healthy elderly with a 30-second interval between sets, Bottaro *et al.*¹⁸ stated that the running of each set did not mean prolonged sustained muscle activity, thus occasioning less metabolic overload and making it possible that a lesser interval is enough to ensure restoration of energetic pathways and elimination of the bio-products of muscle contraction. Further, healthy young individuals reach a greater peak torque and thus generate greater in-

cular entre duas séries de um teste isocinético. Ao comparar intervalos de 30, 60 ou 90 segundos na avaliação de idosos saudáveis, Bottaro e colaboradores¹⁸ encontraram o mesmo resultado. No estudo de Parcell e colaboradores³⁴ em jovens saudáveis, foram necessários 60 segundos de intervalo para manutenção do pico de torque entre duas séries; entretanto, estes autores avaliaram intervalos de 15, 60 ou 180 segundos, não sendo possível portanto determinar se 30 segundos seria tempo suficiente.

Para justificar a adequada recuperação da força muscular em idosos saudáveis com 30 segundos de intervalo entre séries, Bottaro e colaboradores¹⁸ alegaram que a realização de cada série não implica em actividade muscular sustentada prolongada, ocasionando assim menor sobrecarga metabólica e possibilitando que um menor intervalo seja suficiente para assegurar a restauração das vias energéticas e a eliminação dos bioprodutos da contracção muscular. Além disso, jovens saudáveis atingem maior pico de torque e, portanto, geram maior pressão intramuscular, maior oclusão do fluxo sanguíneo e maior acúmulo de metabólitos⁴⁹, o que justifica a necessidade de maior intervalo de repouso entre séries para permitir a recuperação muscular. O mesmo raciocínio pode ser aplicado aos indivíduos com DPOC, a fim de justificar porque 30 segundos foram suficientes para impedir o surgimento de fadiga, não comprometendo o desempenho muscular na segunda série.

A pequena variação no pico de torque entre as duas séries de medidas, nos três intervalos de repouso estudados, sugere que não houve fadiga muscular, apesar da maior fatigabilidade esperada em doentes respiratórios crónicos^{36,52}. Tal facto é ratificado pelos baixos índices de fadiga encontrados: a similaridade nos valores de

intramuscular pressure, greater occlusion of blood flow and greater accumulation of metabolites⁴⁹, which justifies the need for a longer recovery interval between sets, to allow muscle recovery. The same rationale can be applied to patients with COPD, explaining why 30 seconds is enough to impede the onset of fatigue without compromising muscle performance in the second set.

The small variation in peak torque between the two sets measured in the three rest intervals studied suggests that there was no muscle fatigue, despite the greater fatigue expected in chronic respiratory disorders⁵². This is borne out by the low fatigue indexes found. The similarity in the total work values between the sets proves that even a 30-second rest allows recovery of muscle strength in the individuals studied.

We did not measure the cross-sectional area of the thigh or the thin mass, which did not allow us to identify cachexia. It is possible that individuals with more intense muscular compromise present a shorter fatigue limit, needing greater rest intervals between sets measured. We also did not assess the level of physical activity in the individuals studied. Watz *et al.*⁵⁷ found that GOLD stages III and IV (severe and very severe limitation to the expiratory airflow) were the best predictors for very inactive patients. Thus it is possible that our sample was composed of individuals with a low level of physical activity. Inactive individuals can present fatigue earlier and reach a lesser peak torque, which favours muscle recovery in a shorter time period. Further, worse musculoskeletal resistance is also present in individuals with a relatively normal level of physical activity, and thus not

trabalho total entre as séries comprova que mesmo um repouso de 30 segundos permitiu a recuperação muscular nos indivíduos estudados. Neste estudo, não foi mensurada a área de secção transversal da coxa nem a massa magra, o que não permite identificar a ocorrência de caquexia. É possível que indivíduos com comprometimento muscular mais intenso apresentem limiar de fadiga mais curto, necessitando de intervalos de recuperação maiores entre séries de medida. Também não foi avaliado o nível de actividade física dos indivíduos estudados. Watz e colaboradores⁵⁷ identificaram que os estágios III e IV do GOLD (limitação ao fluxo aéreo expiratório grave e muito grave) foram os melhores preditores para doentes muito inactivos, portanto é provável que a presente amostra seja composta por indivíduos com baixo nível de actividade física. Indivíduos inactivos podem apresentar fadiga mais precocemente; entretanto, estes indivíduos também atingem menor pico de torque, o que favoreceria a recuperação muscular num tempo mais curto. Além disso, a piora na resistência da musculatura esquelética também está presente em indivíduos com nível de actividade física relativamente normal, não se correlacionando com variáveis de função pulmonar, dados antropométricos nem mesmo força do quadríceps³⁶.

Conclusão

Em síntese, os resultados deste estudo mostram que, na avaliação isocinética de indivíduos com DPOC grave ou muito grave, pico de torque e trabalho total podem ser identificados por meio de apenas uma série com cinco repetições; se forem realizadas duas séries, 30 segundos de intervalo entre elas é suficiente para garantir a recuperação muscular.

correlated with lung function variables, height and weight data or even quadriceps strength³⁶.

Conclusion

Our results show that in isokinetic evaluation of subjects with severe or very severe COPD, peak torque and total work can be identified by a protocol with one set of five repetitions. If two sets are performed, a rest interval of 30 seconds is enough to ensure muscle recovery between sets.

Bibliografia/Bibliography

- Barnes PJ, Celli BR. Systemic manifestations and comorbidities of COPD. *Eur Respir J* 2009; 33:1165-1185.
- Global initiative for chronic obstructive lung disease. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease – updated 2008. National Heart, Lung and Blood Institute. Available from: <http://www.goldcopd.org>.
- Wagner PD. Skeletal muscles in chronic obstructive pulmonary disease: deconditioning, or myopathy? *Respirology* 2006; 11:681-686.
- Debigaré R, Côte CH, Maltais F. Peripheral muscle wasting in chronic obstructive pulmonary disease – Clinical relevance and mechanisms. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164:1712-1717.
- ATS, ERS. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 510-540.
- Kim HC, Mofarrah M, Hussain SN. Skeletal muscle dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of COPD* 2008; 3:637-658.
- Jagoe RT, Engelen MP. Muscle wasting and changes in muscle protein metabolism in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 2003; 22:52s-63s.
- Gosselink R, Troosters T, Decramer M. Peripheral muscle weakness contributes to exercise limitation in COPD. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153:976-980.
- Pitta F, Troosters T, Probst VS, Spruit MA, Decramer M, Gosselink R. Physical activity and hospitalization for exacerbation of COPD. *Chest* 2006; 129:536-544.
- Decramer M, Gosselink R, Troosters T, Verschueren M, Evers G. Muscle weakness is related to utilization of health care resources in COPD patients. *Eur Respir J* 1997; 10:417-423.
- Marquis K, Debigaré R, Lacasse Y, LeBlanc P, Jobin J, Carrier G, Maltais F. Mid thigh muscle cross-sectional area is a better predictor of mortality than body mass index in patients with COPD. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166:809-813.
- Silva KR, Marrara KT, Marino DM, DiLorenzo VA, Jamami M. Fraqueza muscular esquelética e intolerância ao exercício em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica. *Rev Bras Fisioter* 2008; 12:169-175.
- Casaburi R. Skeletal muscle function in COPD. *Chest* 2000; 117:267s-71s.
- Dourado VZ, Tanni SE, Vale SA, Faganello MM, Sanchez FF, Godoy I. Manifestações sistêmicas na doença pulmonar obstrutiva crônica. *J Bras Pneumol* 2006; 32: 161-171.
- Gosker HR, Wouters EF, van der Vusse GJ, Schols AM. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure: underlying mechanisms and therapy perspectives. *Am J Clin Nutr* 2000; 71:1033-1047.
- Gea J, Barreiro E. Update on the mechanisms of muscle dysfunction in COPD. *Arch Bronconeumol* 2008; 44:328-337.
- Janssen I. Influence of sarcopenia on the development of physical disability: the cardiovascular health study. *J Am Geriatr Soc* 2006; 54:56-62.
- Bottaro M, Russo A, Oliveira RJ. The effects of rest interval on quadriceps torque during an isokinetic testing protocol in elderly. *J Sports Sci Med* 2005; 4:285-290.
- Gosselink R, Troosters T, Decramer M. Peripheral muscle weakness contributes to exercise limitation in COPD. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153:976-980.
- Dal Corso S, Nápolis L, Malaguti C, Gimenes AC, Albuquerque A, Nogueira CR, De Fuccio MB, Pereira RD, Bulle A, McFarlane N, Nery LE, Neder JA. Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired COPD patients. *Respiratory Medicine* 2007; 101:1236-1243.
- Malaguti C, Nery LE, Dal Corso S, Nápolis L, De Fuccio MB, Castro M, Neder JA. Scaling skeletal muscle function to mass in patients with moderate-to-severe COPD. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98:482-488.
- Bourjeily-Habr G, Rochester CL, Palermo F, Snyder P, Mohsenin V. Randomized controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of the lower extremities in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2002; 57:1045-1049.
- van Wetering CR, van Nooten FE, Mol SJ, Hoogendoorn M, Mólken MP, Schols AM. Systemic impairment in relation to disease burden in patients with moderate COPD eligible for a lifestyle program. Findings from the INTERCOM trial. *International Journal of COPD* 2008; 3:443-451.
- Neder JA, Sword D, Ward SA, Mackay E, Cochrane LM, Clark CJ. Home based neuromuscular electrical

stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2002; 57:333-337.

25. Borghi-Silva A, Thommazo L, Pantoni CB, Mendes RG, Salvini TF, Costa D. Non-invasive ventilation improves peripheral oxygen saturation and reduces fatigability of quadriceps in patients with COPD. *Respirology* 2009; 14:537-544.

26. Gosker HR, Kubat B, Schaart G, van der Vusse GJ, Wouters EF, Schols AM. Myopathological features in skeletal muscle of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 2003; 22:280-285.

27. Franssen FM, Broekhuizen R, Janssen PP, Wouters EF, Schols AM. Limb muscle dysfunction in COPD: effects of muscle wasting and exercise training. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:2-9.

28. Franssen FM, Broekhuizen R, Janssen PP, Wouters EF, Schols AM. Effects of whole-body exercise training on body composition and functional capacity in normal-weight patients with COPD. *Chest* 2004; 125:2021-2028.

29. Janaudis-Ferreira T, Wadell K, Sundelin G, Lindström B. Thigh muscle strength and endurance in patients with COPD compared with healthy controls. *Respiratory Medicine* 2006; 100:1451-1457.

30. Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault N, Munzinger U. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging* 2007; 27:346-353.

31. Brown LE, Weir JP. ASEP Procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol* 2001; 4:1-21.

32. Gleeson NP, Mercer TH. The utility of isokinetic dynamometry in the assessment of human muscle function. *Sports Med* 1996; 21:18-34.

33. Willardson JM. A brief review: factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J Strength Cond Res* 2006; 20:978-984.

34. Parcell AC, Sawyer RD, Tricoli VA, Chivever TD. Minimum rest period for strength recovery during a common isokinetic testing protocol. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34:1018-1022.

35. Caron MA, Debigaré R, Dekhuijzen R, Maltais F. Comparative assessment of the quadriceps and the diaphragm in patients with COPD. Article in press. *J Appl Physiol* (April 9, 2009).

36. Coronell C, Orozco-Levi M, Méndez R, Ramirez-Sarmiento A, Gáldiz JB, Gea J. Relevance of assessing quadriceps endurance in patients with COPD. *Eur Respir J* 2004; 24:129-136.

37. Couillard A, Prefaut C. From muscle disuse to myopathy in COPD: potential contribution of oxidative stress. *Eur Respir J* 2005; 26:703-719.

38. Montes de Oca M, Torres SH, Gonzalez Y, Romero E, Hernandez N, Mata A, Talamo C. Peripheral muscle composition and health status in patients with COPD. *Respir Med* 2006; 100:1800-1806.

39. Gosker HR, van Mameren H, van Dijk PJ, Engelen MP, van der Vusse GJ, Wouters EF, Schols AM. Skeletal muscle fiber-type shifting and metabolic profile in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 2002; 19:617-625.

40. Hartman A, Knols R, Murer K, de Bruin ED. Reproducibility of an isokinetic strength-testing protocol of the knee and ankle in older adults. *Gerontology* 2009; 55:259-268.

41. Ernesto C, Bottaro M, Silva FM, Sales MP, Celes RS, Oliveira RJ. Effects of different rest intervals on isokinetic muscle performance among older adults. *Rev Bras Fisioter* 2009; 13:65-72.

42. Stumbo TA, Merriam S, Nies K, Smith A, Spurgeon D, Weir JP. The effect of hand-grip stabilization on isokinetic torque at the knee. *J Strength Cond Res*. 2001; 15: 372-377.

43. Lund H, Søndergaard K, Zachariassen T, Christensen R, Bülow P, Henriksen M, Bartels EM, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. Learning effect of isokinetic measurements in healthy subjects, and reliability and comparability of Biodex and Lido dynamometers. *Clin Physiol Funct Imaging* 2005; 25:75-82.

44. Siqueira CM, Pellegrini FR, Fontana MF, Greve JM. Isokinetic dynamometry of knee flexors and extensors: comparative study among non-athletes, jumpers athletes and runner athletes. *Rev Hosp Clin Fac Med São Paulo* 2002; 57:19-24.

45. Batista MA, Coutinho JP, Barroso R, Tricoli V. Potencialização: a influência da contração muscular prévia no desempenho da força rápida. *R Bras Ci e Mov* 2003; 11:7-12.

46. Sale DG. Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2002; 30:138-143.

47. Sale DG. Postactivation potentiation: Role in performance. *Br J Sports Med* 2004; 38:386-387.

48. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008; 88: 287-332.
49. Lambert CP, Flynn MG. Fatigue during high-intensity intermittent exercise: application to bodybuilding. *Sports Med.* 2002; 32:511-522.
50. Medbo JJ, Tabata I. Anaerobic energy release in working muscle during 30s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol* 1993; 75:1654-1660.
51. Leppik JA, Aughey RJ, Medved I, Fairweather I, Carey MF, McKenna MJ. Prolonged exercise to fatigue in humans impairs skeletal muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity, sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release, Ca²⁺ uptake. *J Appl Physiol* 2004; 97:1414-1423.
52. Gea J, Orozco-Levi M, Barreiro E. Particularidades fisiopatológicas de las alteraciones musculares en el paciente con EPOC. *Nutr Hosp* 2006; 21(Supl 3): 62-68.
53. Montes de Oca M, Loeb E, Torres SH, De Sanctis J, Hernandez N, Talamo C. Peripheral muscle alterations in non-COPD smokers. *Chest* 2008; 133:13-18.
54. Swallow EB, Reyes D, Hopkinson NS, Man W, Porcher R, Cetti EJ, Moore AJ, Moxham J, Polkey MI. Quadriceps strength predicts mortality in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2007; 62:115-120.
55. Vivodtzev I, Flore P, Lévy P, Wuyam B. Voluntary activation during knee extensions in severely deconditioned patients with chronic obstructive pulmonary disease: benefit of endurance training. *Muscle Nerve* 2008; 37:27-35.
56. Haccoun C, Smountas AA, Gibbons WJ, Bourbeau J, Lands LC. Isokinetic muscle function in COPD. *Chest* 2002; 121:1079-1084.
57. Watz H, Waschki B, Meyer T, Magnussen H. Physical activity in patients with COPD. *Eur Respir J* 2009; 33: 262-272.