

# INFLUÊNCIA DO TEMPO DE INTERVALO ENTRE CONTRAÇÕES ISOCINÉTICAS NA FADIGA MUSCULAR

**Charli Tortoza, MS<sup>1,3</sup>, Daniel V. Nogueira<sup>1,3</sup>, Sidney B. Silva<sup>2,3</sup>, Rodrigo Álvaro B. L. Martins Dr<sup>4</sup>, Fabiano de Barros Souza MS<sup>4</sup>.**

1- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica - UNIVAP

2- Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - UNIVAP

3- Laboratório de Biodinâmica - FCS - UNIVAP

4- Laboratório de Avaliação do Esforço Físico/Fisiologia- FCS – UNIVAP

**Resumo:** Este estudo objetivou identificar o efeito do tempo entre as contrações musculares sobre a fadiga muscular localizada, em situações de poucas repetições. Para a realização do estudo, 8 (oito) voluntários realizaram dez movimentos de flexo-extensão do joelho em um dinamômetro isocinético computadorizado. A tarefa impôs aos indivíduos uma velocidade fixa de extensão (90°/s) e sete diferentes velocidades de flexão, produzindo diferentes tempos de intervalo do movimento extensor e um efeito inverso de variação de sobrecarga nos músculos flexores. Os dados obtidos sugerem não haver um efeito direto do tempo entre as contrações sobre a fadiga muscular, no entanto a fadiga antagonista aparenta ter um papel relevante no desempenho muscular. Conclui-se que seja necessário estudos mais detalhados para investigar a relação entre o trabalho muscular e o tempo de intervalo entre as contrações.

**Palavras-chave:** fadiga, dinamômetro isocinético, tempo de intervalo, antagonista.

**Área do conhecimento:** Ciências da Saúde

## Introdução

Muitos pesquisadores entendem que as três razões principais que podem levar a musculatura à fadiga durante o exercício físico extenuante são: a redução no comando central que chega ao motoneurônio, a falha na transmissão da junção neuromuscular ou, ainda, uma deficiência no mecanismo contrátil do músculo. Indiretamente, a fadiga muscular pode ser mensurada por meio da análise do torque produzido em dada articulação<sup>3,4,11,19</sup>.

Normalmente, na medida em que realizamos exercícios físicos intensos ocorre a diminuição do torque articular produzido pela musculatura, caracterizando o estado de fadiga. Deste modo, a fadiga muscular pode ser definida como a incapacidade da musculatura de produzir força com a mesma eficiência durante um período de tempo. Este tempo pode ser muito curto e, até mesmo, envolver poucas contrações ou repetições, como acontece durante sessões de musculação que visam ganho de força<sup>11</sup>. Com exceção da fase inicial de treinamento, onde convencionalmente o atleta (ou aluno), para melhorar sua condição física geral, utiliza poucas séries com 15 a 20 repetições e carga moderada, nas demais etapas do treinamento é muito comum observarmos séries de 10 ou menos repetições, dependendo do objetivo do treino, mas que sempre tendem a induzir à fadiga muscular.

A quantidade de fadiga, no entanto, depende das características individuais e da duração e intensidade do exercício, controladas pelo número de repetições, pela carga, pela velocidade de movimento e pelo tempo de repouso entre as séries.

Para mensurar o torque produzido na articulação, como modo de quantificar a fadiga, pesquisadores têm utilizado o dinamômetro isocinético computadorizado, equipamento que, para limitar a velocidade de execução dos movimentos, produz uma resistência acomodativa sempre proporcional ao torque produzido pelo indivíduo<sup>9,13</sup>. Tem-se comprovado, em diversas situações experimentais, que o torque produzido na articulação diminui a medida que se executam as repetições, confirmando as observações relacionadas às sessões de musculação<sup>9</sup>. Esta diminuição foi maior em velocidades mais baixas de movimento, o que é bastante lógico, já que, nas situações de velocidades angulares menores, o torque produzido é maior, devido a um aumento do recrutamento muscular potencializado pelo aumento proporcional da resistência oferecida pelo dinamômetro e pelo provável aumento das ligações entre actina e miosina<sup>3,6</sup>. Consequentemente, o estado de fadiga muscular é alcançado precocemente.

## Materiais e Métodos

Participaram do estudo 8 voluntários do sexo masculino, com idades variando entre 22 e 32 anos, sem história de disfunção ortopédica ou neurológica nos membros inferiores, sendo todos não praticantes de atividade física sistematizada. A altura média dos voluntários foi de  $170 \pm 6$  cm e o peso de  $775 \pm 35$ N.

Para aquisição dos dados foi utilizado um dinamômetro isocinético computadorizado Biodex Multi-Joint System 3 e seus acessórios, para avaliação da articulação do joelho; um computador e um software que permitem a aquisição e registro dos parâmetros biomecânicos. Estes equipamentos pertencem ao Laboratório de Biodinâmica, Faculdade de Ciências da Saúde, da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP).

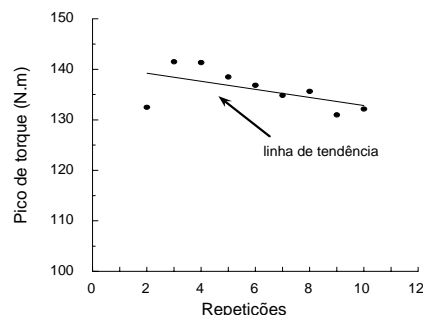
Após o aquecimento prévio padronizado e a estabilização ao aparelho, todos os sujeitos foram instruídos a realizarem 10 movimentos de extensão e flexão do joelho, com o máximo de força e velocidade, com 7 diferentes tempos de intervalo entre as contrações da musculatura extensora (em 7 dias diferentes, com intervalos mínimos de 48 horas), obtidos por meio de velocidades pré-estabelecidas para o movimento de flexão, testadas de forma randomizada. Sendo assim, a velocidade do movimento de flexão foi variada enquanto a velocidade de extensão permaneceu constante. (30x90, 45x90, 90x90, 120x90, 180x90, 300x90 e 500x90, velocidades flexoras e extensoras ( $^{\circ}$ /s), respectivamente). A excursão angular foi de  $60^{\circ}$ , partindo de  $90^{\circ}$  de flexão, com a extensão anatômica do joelho definida como  $0^{\circ}$ .

Os valores do torque muscular resultante, da posição angular e da velocidade de movimento foram registrados a uma frequência de 100 Hz. Após a coleta dos mesmos os dados foram exportados para planilha eletrônica, onde foram calculadas as seguintes variáveis:

- Pico de torque extensor (PT);
- Tempo de intervalo entre o início das contrações musculares (IC);
- Tempo para atingir o pico de torque extensor (TP) e seu coeficiente de variabilidade (CV-TP);
- Índice de fadiga (IDC-FD), obtido pela seguinte equação:

$$IDC-FD = 100 - (\text{média dos 3 últimos PT} / \text{média dos 3 primeiros PT}) * 100 (1);$$

- Índice de fadiga obtido pela inclinação da linha de tendência dos PT (IN-PT);

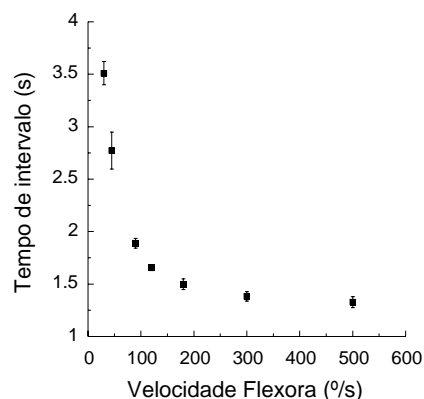


**Figura 1:** valores de pico de torque extensor das 9 repetições (2-10) e sua respectiva linha de tendência, obtidos de um dos indivíduos analisados no movimento de 90-45 (velocidades extensoras e flexoras em  $^{\circ}$ /s, respectivamente).

Para verificar o efeito da velocidade do movimento flexor do joelho sobre o pico do torque extensor os resultados foram comparados por meio de análise de variância ANOVA (one-way) e as interações foram analisadas pelo Test-t. Considerou-se significativamente diferente  $p < 0.05$ . Os valores obtidos da primeira repetição foram excluídos da análise por apresentarem variações significativas e não representarem a capacidade efetiva de geração de força.

## Resultados

De modo geral, a medida que a velocidade do movimento de flexão foi aumentada, o tempo de intervalo entre as contrações (IC) extensoras sofreu uma significativa diminuição ( $p=0,004$ )(figura 2).



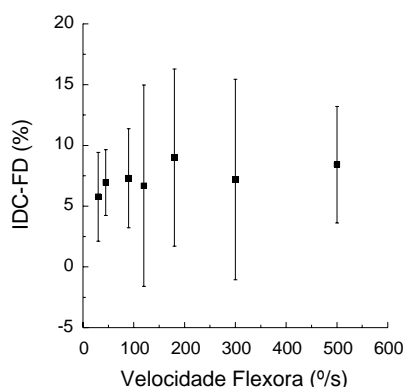
**Figura 2:** média e desvio padrão do tempo de intervalo entre as contrações (IC) em segundos, para os 8 sujeitos analisados em diferentes velocidades do movimento flexor.

Observou-se, então, que, em velocidades reduzidas para o movimento de flexão, o grupo muscular extensor obteve um tempo maior de recuperação (figura 2). Porém, não encontramos

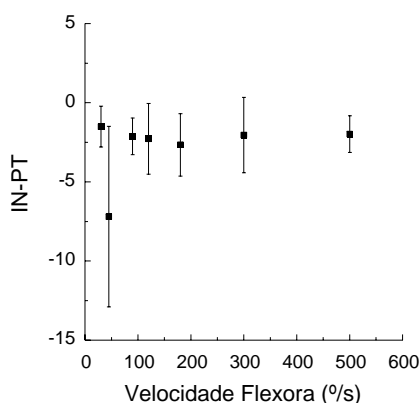
diferença significativa entre as velocidades de 300 %/s e 500 %/s ( $p=0.33$ ).

Apesar do IC ser significativamente diferente, o tempo para atingir o pico de torque extensor (TP), que em média foi 0.4 segundos, não foi influenciado pela variação do IC, obtendo  $p=0.888$ . O mesmo foi observado para o seu coeficiente de variabilidade (CV-TP) que obteve  $p=0.165$ .

Nas figuras 3 e 4 estão sendo mostrados os valores relacionados à fadiga apresentada pela musculatura extensora, em função da variação da velocidade flexora. O resultado da análise estatística demonstrou também não haver diferença significativa ( $p=0.983$ ) para o índice de fadiga (IDC-FD) com a variação do IC produzidas pela variação da velocidade da flexão (figura 3). No entanto, quando calculamos a inclinação da linha de tendência dos PT (IN-PT), observamos uma diferença significativa para a velocidade de 45%/s de flexão ( $p=0.009$ ), em relação às demais velocidades de flexão analisadas (figura 4).



**Figura 3:** média e desvio padrão do índice de fadiga (IDC-FD) em %, para os 8 sujeitos analisados em diferentes velocidades flexoras.



**Figura 4:** média e desvio padrão da inclinação da linha de tendência dos PT (IN-PT) em graus, para os 8 sujeitos analisados em diferentes velocidades do movimento flexor. Valores negativos indicam diminuição do pico de torque.

## Discussão

Foi demonstrado por pesquisadores que a fadiga muscular (queda na geração de torque) está diretamente relacionada com o tempo de repouso entre os exercícios realizados demonstraram uma recuperação completa do quadríceps, durante contrações isocinéticas concêntricas e excêntricas com 2,5 minutos de repouso entre as séries<sup>1,13</sup>. Estes valores foram confirmados em 1994, quando foi observado, a necessidade de um período de 120 segundos para que haja uma ressíntese satisfatória da ATP-CP no trabalho empregado, recuperando, desta maneira, o grupo muscular do quadríceps para uma nova fase de atividades.

Em 1999 um grupo investigou a diminuição da força muscular em quatro séries de exercícios isocinéticos para a flexão e extensão, em velocidade angular fixada em 180%/s, com 20 repetições e demonstraram um percentual de decréscimo de 29% para o pico de torque, 46.1% para a média da potência e 46,9% do trabalho total, quando o repouso foi de 40s e 11,4 %; 24,8% e 23,8% respectivamente, para um repouso de 160s<sup>13</sup>. Estes resultados sugerem que qualquer característica do movimento que afete a reposição de substratos poderia ter influência direta sobre o estado de fadiga da musculatura.

Para testar a influência do tempo de intervalo entre as contrações musculares (IC), apenas modificamos a velocidade limite do movimento de volta à posição inicial (flexão do joelho). Este protocolo mostrou ser eficiente na produção de diferentes tempos entre as contrações musculares, como observamos na figura 2. No entanto, não observamos uma variação proporcional do tempo para atingir o pico do torque, que representa a potência muscular do grupo extensor do joelho. Aparentemente, o fato de aumentarmos a frequência das contrações não afetou o modo como a musculatura extensora potencializa sua geração de força. Como as medidas de TP foram obtidas pelos valores médios de todas as contrações realizadas em cada série de movimentos, calculamos o CV-TP, que nos indica se esta variável (TP) apresenta coeficiente de variabilidade que poderia ser relacionado ao IC. Nossos resultados demonstram não haver diferenças na variabilidade da potência muscular sob a influência do IC.

De modo geral, o protocolo de teste foi capaz de produzir fadiga muscular localizada em apenas 10 contrações realizadas, já que os dois índices utilizados demonstram diminuição do pico de torque. Observamos, ainda, resultados diferenciados para os dois índices. A análise do IDC-FD demonstrou não haver influência do IC sobre a fadiga muscular. No entanto, o IN-PT apresentou diferença significativa para o movimento de flexão a 45%/s, que foi

significativamente maior, demonstrando ser fundamental considerar os valores obtidos de todas as repetições e não apenas o desempenho no início e final do teste (como em IDC-FD), principalmente, quando analisamos poucas repetições. Não há na literatura consenso sobre a forma correta de se calcular índice de fadiga após a medida do torque resultante.

A diferença encontrada na velocidade de flexão a 45°/s para o IN-PT demonstra o aumento significativo da fadiga nesta condição experimental. Quando os indivíduos realizaram os testes com velocidade de 30°/s de flexão, o tempo total e a quantidade de esforço foram maiores, pois, em velocidades menores, a capacidade de geração de força é aumentada e a somatória dos trabalhos gerados pelos movimentos flexores também é maior<sup>3</sup>. Estes fatores provocariam o aumento esperado da fadiga muscular flexora, já que as extensões foram realizadas em mesma velocidade (sempre 90°/s), proporcionando tempos de intervalo flexor relativamente constante. No entanto, quando analisamos o grupo extensor, o tempo necessário para a reposição de substratos na musculatura ou de neurotransmissores na junção neuromuscular, no motoneurônio e no sistema nervoso central, que esteve em torno de 3,5 segundos, parece ser suficiente para não observarmos aumento do índice de fadiga desta musculatura nesta condição. Aparentemente, nos movimentos de flexão a 45°/s esta relação trabalho total (flexor + extensor) e tempo de intervalo é alterada, ou seja, o grupo flexor realiza o movimento a 45°/s, condição de esforço intenso e, paralelamente, há uma redução significativa do tempo de intervalo extensor, em média 2,7 segundos, resultando em uma fadiga maior. Nas demais velocidades flexoras (90, 120, 180, 300 e 500°/s), a diminuição significativa do IC da musculatura extensora foi compensada pela menor quantidade de esforço empregada pela musculatura flexora e, conseqüentemente, os índices de fadiga parecem ser mantidos. Estes resultados se diferenciam dos obtidos por Seltman et al. (2003), que observaram não haver um efeito claro do grupo flexor sobre o desempenho extensor do joelho.

## Conclusão

Independente do modo como o músculo é ativado, nosso estudo se propôs a investigar a manutenção dos níveis de força e demonstrou que a fadiga induzida pela diminuição do tempo de intervalo entre as contrações pode ter efeitos compensatórios, em função do nível de esforço da musculatura oposta. Apesar da literatura apresentar resultados diferenciados sobre a influência antagonista, nossos resultados sugerem que esta influência existe e está diretamente

relacionada à tarefa realizada. Nossos resultados indicam claramente diferenças apresentadas pelos dois índices utilizados para quantificar a fadiga muscular e que se torna fundamental analisar todas as repetições.

Sugerimos que outros estudos sejam realizados para tentar elucidar o comportamento do sistema músculo-esquelético em situações de fadiga muscular induzidas pela frequência da contração e influência antagonista.

## Referências

1. BILCHECK et al. The effects os isokinetic fatigue on recovery of maximal isokinetic concentric and eccentric strenght in women. **J. Strenght Cond. Res.**, v. 7, p. 43-50, 1993.
2. ENOKA, R.M. **Bases neuromecânicas da cinesiologia**. Editora Manole, São Paulo, 2000.
3. ENOKA, R.M. Mechanisms of muscle fatigue: central factors and task dependency. **J. Electromyogr. Kinesiol.**, v. 5 (3), p. 141-149, 1995.
4. FITTS, R. Muscle fatigue: the celular aspects. **Am. J. Sports Med.**, V. 24(6), p. s9-s13, 1996.
5. GABRIEL et al. Neural adaptations to fatigue: implications for muscle strength and training. **Med. Sci. Sport Exerc**, v. 33, n 8, p. 1354-1360, 2001.
6. HALL, Susan.: **Biomecânica básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 127p
7. HAUTIER et al. Influence of fatigue on EMG/force ratio and cocontraction in cycling. **Med. Sci. Sport Exerc**, v. 32 (4), p. 839-843, 2000.
8. JARIC et al. A comparison of the effects of agonist and antagonist muscle fatigue on performance of rapid movements. **Eur. J. Appl. Physiol.**, v. 76, p. 41-47, 1997.
9. KAWABATA . Yasuto et al. Measurement of fatigue in knee flexor and extensor muscles, **Acta Med.** Okayama 54(2): 85-90, 2000.
10. KELLIS, E. The effect of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyographic activity at different angles during dynamic knee extension efforts. **J. Electromy. Kinesiology.**, v. 9, p 191-199, 1999.
11. McARDLE et al.: **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desenpenho humano**. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 1998. 695p.