

## Stabilometric response during single-leg stance after lower limb muscle fatigue

Resposta estabilométrica durante apoio unipodal após fadiga muscular de membros inferiores

Carlos A. V. Bruniera<sup>1</sup>, Fernando R. P. G. Rogério<sup>2</sup>, André L. F. Rodacki<sup>3</sup>

**ABSTRACT | Objective:** This study sought to analyze the effect of muscle fatigue induced by active isotonic resistance training at a moderate intensity by measuring the knee extension motion during the stabilometric response in a single-leg stance among healthy university students who perform resistance training on a regular basis. **Method:** Eleven healthy university students were subjected to a one-repetition maximum (1RM) test. In addition, stabilometric assessment was performed before and after the intervention and consisted of a muscle fatiguing protocol, in which knee extension was selected as the fatiguing task. The Shapiro-Wilk test was used to investigate the normality of the data, and the Wilcoxon test was used to compare the stabilometric parameters before and after induction of muscle fatigue, at a significance level of  $p \leq 0.05$ . Descriptive statistics were used in the analysis of the volunteers' age, height, body mass, and body mass index (BMI). **Results:** The sample population was  $23.1 \pm 2.7$  years of age, averaged  $1.79.2 \pm 0.07$  m in height and  $75.6 \pm 8.0$  Kg in weight, and had a BMI of  $23.27 \pm 3.71$  Kg.m<sup>-2</sup>. The volunteers performed exercises  $3.36 \pm 1.12$  days/week and achieved a load of  $124.54 \pm 22.07$  Kg on 1RM and  $74.72 \pm 13.24$  Kg on 60% 1RM. The center of pressure (CoP) oscillation on the mediolateral plane before and after fatigue induction was  $2.89 \pm 0.89$  mm and  $4.09 \pm 0.59$  mm, respectively, while the corresponding values on the anteroposterior plane were  $2.5 \pm 2.2$  mm and  $4.09 \pm 2.26$  mm, respectively. The CoP oscillation amplitude on the anteroposterior and mediolateral planes exhibited a significant difference before and after fatigue induction ( $p=0.04$  and  $p=0.05$ , respectively). **Conclusions:** The present study showed that muscle fatigue affects postural control, particularly with the mediolateral and anteroposterior CoP excursion.

**Keywords:** rehabilitation; muscle fatigue; exercise; postural balance.

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Bruniera CAV, Rogério FRPG, Rodacki ALF. Stabilometric response during single-leg stance after lower limb muscle fatigue. Braz J Phys Ther. 2013 Sept-Oct; 17(5):464-469. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552012005000119>

**RESUMO | Objetivo:** Analisar o efeito da fadiga muscular induzida por exercício isotônico ativo-resistido de extensão de joelhos em intensidade moderada na resposta estabilométrica em apoio unipodal em universitários saudáveis, praticantes de treinamento resistido. **Método:** Para tanto, 11 jovens universitários saudáveis foram submetidos ao teste de 1-RM, avaliação estabilométrica pré e pós-intervenção e protocolo de indução à fadiga muscular utilizando a extensão do joelho como tarefa fatigante. Utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados e o teste de Wilcoxon para as comparações entre os parâmetros estabilométricos pré e pós-indução à fadiga muscular com nível de significância estipulado em  $p \leq 0,05$ , enquanto a estatística descritiva foi aplicada para caracterizar a idade, estatura, massa corporal e o índice de massa corporal (IMC). **Resultados:** O grupo apresentou  $23,1 \pm 2,7$  anos;  $1,79,2 \pm 0,07$  m;  $75,6 \pm 8,0$  Kg;  $23,27 \pm 3,71$  Kg.m<sup>-2</sup>;  $3,36 \pm 1,12$  número de dias de atividade/semana; 1RM:  $124,54 \pm 22,07$  kg; 60% de 1-RM:  $74,72 \pm 13,24$  Kg. A oscilação do centro de pressão (CP) médio-lateral pré e pós-fadiga, respectivamente, foi de  $2,89 \pm 0,89$  mm e  $4,09 \pm 0,59$  mm, enquanto a oscilação ântero-posterior foi de  $2,5 \pm 2,2$  mm e  $4,09 \pm 2,26$  mm. Encontrou-se diferença na largura de oscilação do CP nas direções ântero-posterior e médio-lateral entre as condições pré e pós-fadiga,  $p=0,04$  e  $p=0,05$ , respectivamente. **Conclusões:** Portanto, o estudo demonstrou que a fadiga muscular altera o controle postural, especialmente na excursão médio-lateral e ântero-posterior do CP.

**Palavras-chave:** reabilitação; fadiga muscular; exercício; equilíbrio postural.

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil

<sup>2</sup>Fisioterapeuta, Londrina, PR, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil

Received: 09/13/2012 Revised: 03/30/2013 Accepted: 05/15/2013

## ● Introdução

O controle da postura ereta é mediado pela integração de um complexo conjunto de processos reflexos e perceptivos que asseguram a manutenção e o restabelecimento do equilíbrio. Tais processos ocorrem mediante o fluxo ininterrupto de impulsos aferentes oriundos de estruturas proprioceptivas, vestibulares e visuais. Assim, déficits perceptivos podem alterar o controle postural e influenciar o equilíbrio<sup>1</sup>. Alguns estudos têm reportado que lesões ortopédicas<sup>2</sup>, disfunções vestibulares<sup>3</sup> e exercícios que induzem à fadiga<sup>4</sup> podem influenciar a propriocepção<sup>5,6</sup> e, conseqüentemente, o controle postural<sup>7</sup>.

As alterações sobre a propriocepção em resposta à fadiga<sup>8-10</sup> podem modificar o controle neuromuscular e aumentar a incidência de lesões<sup>11</sup>. Alterações do sistema perceptivo podem aumentar o risco de lesão ligamentar, especialmente ao redor das articulações do joelho e tornozelo<sup>5,6,12</sup>, visto o relevante papel dessas articulações no controle postural e na manutenção do equilíbrio.

A capacidade do músculo de gerar força e potência é reduzida em condições de fadiga<sup>13</sup> e resulta em déficits do desempenho motor<sup>14</sup>, o que provoca aumento das oscilações na postura estática<sup>15</sup>. Os efeitos da fadiga sobre o equilíbrio têm sido vistos imediatamente pós-exercício e tendem a diminuir à medida que o tempo pós-exercício aumenta<sup>16</sup>. Logo, sugere-se que o equilíbrio e o desempenho de tarefas funcionais são reduzidos após exercícios extenuantes que induzem à fadiga<sup>17</sup>.

O equilíbrio depende da capacidade do sistema neuromuscular de reagir rapidamente a perturbações que produzem forças desestabilizadoras, as quais têm seus efeitos minimizados por meio de ajustes posturais<sup>18</sup>. Entretanto, a reduzida capacidade do sistema musculoesquelético de responder prontamente às forças que atuam sobre o corpo e perturbam o equilíbrio pode alterar os mecanismos perceptivos e efetores e modificar as respostas do sistema neuromuscular de forma a interferir na estabilidade corporal<sup>18,19</sup>. Alguns estudos têm demonstrado que a fadiga dos músculos do tronco e de membros inferiores em adultos jovens causa redução do controle postural<sup>11,20</sup>.

Bisson et al.<sup>21</sup> não encontraram diferenças entre protocolos de fadiga que envolveram contrações isométricas e isocinéticas dos músculos plantiflexores, porém ambos influenciaram os parâmetros do centro de pressão (CP). Aumentos na área de excursão, velocidade e variabilidade das medidas foram encontradas tanto na direção médio-lateral quanto

na direção ântero-posterior. Ainda que os músculos que atuam ao redor da articulação do tornozelo desempenhem um papel fundamental sobre o controle postural na posição ereta quieta, os músculos extensores do joelho são consideravelmente mais utilizados e, conseqüentemente, mais expostos à fadiga durante a realização das atividades da vida diária e podem provocar respostas diferentes daquelas observadas quando atividades extenuantes são impostas apenas sobre os músculos mais distais do segmento inferior. Assim, o presente estudo visou a analisar o efeito da fadiga muscular induzida por exercícios resistidos sobre a musculatura extensora de joelhos e sobre a resposta estabilométrica em apoio unipodal em jovens.

## ● Método

Participaram do estudo 11 homens jovens ( $23,1 \pm 2,7$  anos;  $1,79 \pm 0,07$  m;  $75,6 \pm 8,0$  Kg e  $23,3 \pm 3,71$  Kg.m<sup>-2</sup>), familiarizados e praticantes de exercícios resistidos, que treinavam, no mínimo, duas vezes por semana (número de dias de atividade/semana:  $3,36 \pm 1,12$ ) por um período de três a cinco meses, antes do início do experimento. Os participantes não possuíam histórico de lesões, cirurgias e fraturas em membros inferiores e uso de medicamentos que pudessem comprometer os achados do estudo. Além disso, portadores de problemas cardíacos, respiratórios, disfunção vestibular, visual, comprometimento físico e usuários de fármacos que interferem na capacidade de vigília e equilíbrio, que pudessem influenciar a realização dos testes, foram excluídos. Tais critérios de exclusão foram aplicados em entrevista e não excluem a possibilidade do desconhecimento sobre tais problemas pelos participantes. Antes da realização do estudo, os sujeitos consentiram em participar e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, que foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil, parecer 94.191, CAAE 02986012.3.0000.5231.

Os participantes foram orientados a não realizar atividades físicas moderadas ou vigorosas 24 horas antes da coleta dos dados e evitar a ingestão de bebidas alcoólicas ou remédios que pudessem influenciar o equilíbrio. A amostra foi formada apenas por homens, visto existirem diferenças na capacidade de atingir e suportar a fadiga entre gêneros<sup>22,23</sup>.

Os participantes compareceram a uma primeira sessão experimental na qual tiveram parâmetros antropométricos tomados (massa e estatura corporal) e realizaram um teste de uma repetição máxima

(1-RM)<sup>24,25</sup>. O teste de 1-RM foi realizado de acordo com os protocolos estipulados pelo *American College of Sports Medicine (ACSM)*<sup>26</sup> e consistiu na determinação da maior carga possível que pode ser movida/levantada em uma única repetição completa em um movimento de extensão de joelhos numa cadeira flexo-extensora (Naka-Gym, Fit, Brasil). A carga máxima foi estabelecida por tentativas máximas a partir de um valor estimado pelo experimentador. A carga foi gradativamente aumentada em 5 Kg a cada tentativa, até que os participantes não conseguiram realizar o movimento completo de extensão de joelhos. Um intervalo de três minutos foi imposto entre cada tentativa. Durante o teste, os participantes permaneceram sentados com os joelhos sobre a extremidade distal do equipamento e com o dorso apoiado sobre o encosto do assento. Alças laterais para apoio das mãos foram utilizadas a fim estabilizar o tronco e evitar movimentos acessórios. O teste de 1-RM foi precedido de um aquecimento específico na mesa extensora de joelhos, o qual foi composto por três séries de 10-12 repetições sem sobrecarga, que foram intervaladas por um período de 90s de recuperação.

Uma semana após a primeira sessão, os sujeitos foram convidados a retornar ao laboratório para uma segunda sessão experimental, na qual um teste estabilométrico foi realizado imediatamente antes (pré) e após (pós) um protocolo de exercícios para membros inferiores destinados a induzir fadiga. A fadiga foi induzida por movimentos de extensão dos joelhos com uma carga equivalente a 60% de 1-RM. Durante o protocolo de indução à fadiga, os sujeitos foram instruídos a executar movimentos de extensão numa frequência de 0.133 Hz (8 bpm), que foram controlados por um metrônomo (*Orange, Digital Korg, EUA*). O protocolo de fadiga foi interrompido quando os sujeitos foram incapazes de manter a frequência de execução por dois batimentos consecutivos ou três alternados ou ainda em sua máxima amplitude.

O teste estabilométrico foi realizado com apoio unipodal sobre o membro dominante, durante 60 s sobre uma plataforma de forças (*FootWork, AM3, França*), que foi posicionada ao lado da cadeira flexo-extensora para permitir um intervalo mínimo entre o final do exercício de fadiga e o início do teste (aproximadamente 5 s). Durante o teste, o quadril e o joelho do membro contralateral foram mantidos a aproximadamente 45 e 90°, respectivamente, enquanto a perna de apoio permaneceu estendida. Os membros superiores permaneceram estendidos ao lado do corpo, e o tronco, ereto. Os participantes

foram instruídos a manter o olhar fixo em um ponto (diâmetro de 0,07 m) posicionado 1 m à frente e à altura dos olhos. A plataforma de forças consiste em uma base rígida recoberta por 2.704 (dois mil setecentos e quatro) sensores capacitivos de pressão de 7,62×7,62 mm. Esse equipamento é composto de um conversor A/D de 16 bits, e a frequência de amostragem utilizada durante os testes foi de 100 Hz. A plataforma foi conectada a um microcomputador, e os dados foram analisados pelo programa *FootWork (Arquipelago, versão 2.9.9.0, sendo que o método de tratamento dos dados das variáveis de equilíbrio foi desenvolvido em parceria com a empresa AM3, França)*. A partir dos dados filtrados, um conjunto de parâmetros estabilométricos foi estabelecido e as seguintes variáveis determinadas a partir do *software* utilizado: a amplitude de oscilação do CP no eixo médio-lateral e no ântero-posterior, a área de deslocamento e a velocidade média quadrática (ântero-posterior e médio-lateral) foram determinadas.

O teste de Shapiro-Wilk confirmou a normalidade dos dados, e o teste t para medidas repetidas foi aplicado para determinar o efeito do protocolo de fadiga sobre um número de parâmetros estabilométricos. Os testes foram realizados por meio do pacote estatístico *Statistica 7.0* e tiveram o coeficiente de significância de  $p < 0,05$ .

## ● Resultados

Os sujeitos foram capazes de levantar cargas de 124,5±22,1 Kg no teste de 1-RM. A oscilação do CP na direção médio-lateral pré e pós-fadiga foi de 2,89±0,89 mm e 4,09±0,59 mm, respectivamente. Foram encontradas diferenças em função do protocolo de fadiga ( $p=0,04$ ). A velocidade média do CP na direção médio-lateral permaneceu inalterada em resposta à fadiga ( $p > 0,05$ ; pré=6,21±2,36 mm.s<sup>-1</sup>; pós=6,35±2,26 mm.s<sup>-1</sup>). A análise da oscilação do CP na direção ântero-posterior também revelou efeitos da fadiga sobre o CP ( $p < 0,05$ ; pré=2,5±2,2 mm; pós=4,09±2,26 mm). Por outro lado, a velocidade média do CP na direção ântero-posterior não diferiu após a fadiga ( $p > 0,32$ ; pré=3,9±0,9 mm.s<sup>-1</sup> e pós=4,64±1,42 mm.s<sup>-1</sup>). A área total do CP tendeu a aumentar em função da fadiga (pré=135,0±29,62 mm<sup>2</sup>; pós=151,72±16,69 mm<sup>2</sup>), porém não foram encontradas diferenças significativas ( $p=0,08$ ). A velocidade média quadrática do CP permaneceu inalterada em função do protocolo de fadiga ( $p=0,78$ ; pré=7,43±2,22 mm.s<sup>-1</sup> e pós=7,96±2,24 mm.s<sup>-1</sup>).

## ● Discussão

A presente investigação procurou verificar a influência da fadiga muscular dos músculos extensores de joelho, que possuem um papel importante na execução de movimentos no esporte bem como nas atividades diárias<sup>27</sup>, sobre o controle postural em indivíduos saudáveis e testou a hipótese de que existem efeitos agudos da fadiga sobre o controle postural. Os resultados indicam que a fadiga foi capaz de influenciar o sistema somatossensorial e modificar alguns parâmetros estabilométricos. Considerando que os demais componentes do sistema de controle (visual e vestibular) não foram diretamente manipulados e permaneceram inalterados, as alterações observadas no presente estudo foram atribuídas predominantemente ao sistema somatossensorial.

A fadiga muscular é definida como a incapacidade temporária de gerar força ou a redução da produção de força para a realização de uma determinada tarefa<sup>28</sup>. A forma com que a fadiga muscular localizada afeta o equilíbrio e o senso de posicionamento articular não é clara, mas provavelmente incorpora componentes aferentes e eferentes que envolvem o processamento necessário para manter a estabilidade funcional para um efetivo controle motor<sup>29</sup>.

A influência da fadiga sobre o equilíbrio foi observada independente da direção do deslocamento do CP (ântero-posterior ou médio-lateral). Uma das primeiras possibilidades para explicar a redução da capacidade de manter a estabilidade corporal está na redução da capacidade muscular de produzir respostas rápidas e precisas que possam prover constantes correções do CP necessárias para sustentar uma posição estável. Assim, a fadiga pode ter influenciado a capacidade dos músculos de produzir torques necessários para controlar os movimentos oscilatórios do centro de massa corporal<sup>30,31</sup>. Ainda que a manutenção postural demande baixos torques articulares, a menor rapidez com que esses torques são gerados em condição de fadiga parece importante.

Após a indução à fadiga, as alterações nos parâmetros estabilométricos sugerem dependência dos mecanismos eferentes para a manutenção do controle postural em condições de equilíbrio estático. Achados similares foram reportados em outros estudos, apesar do emprego de diferentes metodologias experimentais. Carter et al.<sup>32</sup> encontraram forte influência da capacidade de gerar força dos músculos extensores de joelho de idosas (65-75 anos) sobre o desempenho de testes funcionais que envolviam o controle sobre o equilíbrio estático e dinâmico. Johnston et al.<sup>11</sup> também reportaram influência

da fadiga de membros inferiores em testes que demandaram a manutenção do equilíbrio em apoio uni e bipodal. Ambos os achados<sup>11,32</sup> indicam efeitos da fadiga sobre o controle postural e também trazem indícios de que essas alterações sejam dependentes de mecanismos aferentes e eferentes. A contribuição desses mecanismos ainda precisa de maior atenção. Em pesquisa realizada com indução da fadiga por meio de exercícios isométricos e isocinéticos<sup>21</sup>, foi encontrada uma redução similar no controle postural nas variáveis do CP, isso sugere que a diminuição no controle postural devido à fadiga é independente do tipo de contração executado. Assim, provavelmente, o pior desempenho no controle postural após a imposição da fadiga está relacionado a déficits proprioceptivos que podem causar dificuldades em sustentar o equilíbrio e aumentar o risco de quedas e/ou lesões.

A influência da fadiga sobre o controle postural foi analisada por Yaggie e Armstrong<sup>7</sup>, os quais registraram uma maior amplitude de deslocamento do CP no equilíbrio estático, que perdurou até aproximadamente 10 minutos após o final de um protocolo de fadiga. É provável que a maior oscilação do CP seja resultado também do aumento da rigidez articular causada por cocontração dos pares agonista/antagonista<sup>33</sup>, os quais caracterizam a fadiga muscular. Com a perda da capacidade de controlar o CP, os participantes passam a usar uma estratégia em que a velocidade de deslocamento é reduzida. Pode-se especular que tais estratégias tenham sido empregadas para aumentar o controle corporal pelo aumento da rigidez do sistema, que passa a oscilar mais lentamente, sobre uma maior área, numa tentativa de reduzir o deslocamento do CP e o desequilíbrio nas direções ântero-posterior e médio-lateral. Com a fadiga, aumenta a dificuldade de controlar movimentos que tendem a aumentar a rigidez do sistema, o que pode ter causado maiores oscilações do CP<sup>34</sup>.

A fadiga muscular na articulação do tornozelo, joelho, quadril e os músculos abdominais foram analisados no controle do equilíbrio dinâmico em pesquisa previamente publicada<sup>35</sup>. Os resultados revelaram que a fadiga imposta sobre os músculos do joelho e quadril apresentaram maiores decréscimos no equilíbrio do que aqueles causados pela fadiga dos outros grupos musculares. Miller e Bird<sup>35</sup> apontaram que a fadiga da musculatura proximal dos membros inferiores afeta mais o equilíbrio do que a fadiga imposta sobre músculos distais. Os resultados do presente estudo também apontam para uma forte influência sobre a capacidade de manter o equilíbrio estático. Logo, a fadiga sobre os músculos extensores

que controlam a articulação do joelho é suficiente para promover importantes alterações no controle postural.

Além do efeito sobre o tecido contrátil, a literatura traz indícios de que a fadiga também pode ter influenciado o sistema aferente e reduzido a sensibilidade de um conjunto de mecanorreceptores periféricos, localizados nas estruturas musculares, ligamentares, tendíneas e capsulares<sup>36</sup>. Em condições de fadiga, a função desses mecanorreceptores pode ter sido afetada e respostas tardias enviadas aos centros superiores e retardado a elaboração de uma resposta rápida para controlar as oscilações do centro de massa corporal. De fato, alguns estudos têm demonstrado que a função proprioceptiva é alterada em condições de fadiga, alterando a resposta mediante impulsos eferentes às estruturas responsáveis pela geração ou estabilização dos segmentos corporais<sup>37</sup>, interferindo no controle postural<sup>31</sup>. Assim, tais mecanismos provavelmente podem ter influenciado o controle postural e produzido uma maior latência da resposta muscular e ter dificultado a precisão dos constantes ajustes do CP, que são requeridos pelo sistema de controle postural. É necessário ainda considerar que protocolos de determinação de controle postural por medidas de plataforma de força têm sido considerados como um dos meios mais precisos de identificar modificações do equilíbrio<sup>34,38</sup>. Por outro lado, alguns estudos têm apontado que diferenças discretas não podem ser detectadas por meio de tais medidas<sup>39</sup>. As alterações encontradas no presente estudo não podem ser consideradas como discretas e refletem diferenças importantes em resposta aos mecanismos de fadiga.

## ● Conclusão

O presente estudo permitiu identificar um efeito importante da fadiga sobre o controle postural, observado pelo aumento na oscilação do CP pela estabilometria, o qual pode ser interpretado como uma resposta neuromuscular aumentada para tentar superar a instabilidade gerada pela fadiga. Portanto, existem implicações de que as avaliações do controle postural não devem ser realizadas após um período de atividade ou exercício físico e que provavelmente as quedas e/ou lesões possam ocorrer mais frequentemente em situações em que a informação proprioceptiva é reduzida e/ou alterada.

## ● Referências

- Ribeiro F, Oliveira J. Efeito da fadiga muscular local na propriocepção do joelho. *Fisioter Mov*. 2008;21(2):71-83.
- Henriksson M, Ledin T, Good L. Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. *Am J Sports Med*. 2001;29:359-66. PMID:11394609.
- Bastos AGD, Lima MAMT, Oliveira LF. Avaliação de pacientes com queixa de tontura e eletroneuromiografia normal por meio da estabilometria. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2005;71(3):305-10. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-72992005000300007>
- Yaggie JA, McGregor SJ. Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83:224-8. <http://dx.doi.org/10.1053/apmr.2002.28032>
- Lattazio PJ, Petrella RJ. Knee proprioception: a review of mechanisms, measurements, and implications of muscular fatigue. *Orthopedics*. 1998;21:463-70. PMID:9571681.
- Skinner HB, Wyatt MP, Hodgdon JA, Conard DW, Barrack RL. Effect of fatigue on joint position sense of the knee. *J Orthop Res*. 1986;4(1):112-8. PMID:3950803.
- Yaggie J, Armstrong WJ. Effects of lower extremity fatigue on indices of balance. *J Sport Rehabil*. 2004;13(4):21-8.
- Voight ML, Hardin JA, Blackburn TA, Tippett S, Canner GC. The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1996;23:348-52. PMID:8727014.
- Carpenter JE, Blasler RB, Pellizon GG. The effects of muscle fatigue on shoulder joint position sense. *Am J Sports Med*. 1998;26:262-5. PMID:9548121.
- Forestier N, Teasdale N, Nougier V. Alteration of the position sense at the ankle induced by muscular fatigue in humans. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(1):117-22. PMID:11782656. <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200201000-00018>
- Johnston RB, Howard ME, Cawley PW, Losse GM. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30:1703-7. <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-199812000-00008>
- Lephart SM, Fu FH. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Champaign: Human Kinetics; 2000. PMID:1323397.
- Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*. 1992;72:1631-48. PMID:1601767.
- Van Daele U, Huyvaert S, Hagman F, Duquet W, Van Gheluwe B, et al. Reproducibility of postural control measurement during unstable sitting in low back pain patients. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007;8:44-52. PMID:17519016 PMID:1888688. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2474-8-44>
- Gribble PA, Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:589-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.031>
- Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'have T, Bier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med*. 2003;31(1):41-6.
- Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci*

- Sports. 2000;10:123-45. PMID:10843507. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0838.2000.010003123.x>
18. Harkins KM, Mattacola CG, Uhl TL, Malone TR, McCrory JL. Effects of two ankle fatigue models on the duration of postural stability dysfunction. *J Athl Train.* 2005;40(3):191-4. PMID: PMC1250260.
  19. Gribble P, Hertel J. Effect of hip and ankle muscle fatigue on unipedal postural control. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14:641-6. PMID:15491838. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2004.05.001>
  20. Cetin N, Bayramoglu M, Aytar A, Surenkok O, Yemisci OU. Effects of Lower-Extremity and Trunk Muscle Fatigue on Balance. *Open Sports Med J.* 2008;2:16-22. <http://dx.doi.org/10.2174/1874387000802010016>
  21. Bisson EJ, Remaud A, Boyas S, Lajoie Y, Bilodeau M. Effects of fatiguing isometric and isokinetic ankle exercises on postural control while standing on firm and compliant surfaces. *J Neuroeng Rehabil.* 2012;9:39. PMID:22698065 PMID:PMC3502289. <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-9-39>
  22. Doyle JW, Towse TF. Human skeletal muscle responses vary with age and gender during fatigue due to incremental isometric exercise. *J Appl Physiol.* 2002;93:1813-23. PMID:12381770.
  23. Russ DW, Kent-Braun JA. Sex differences in human skeletal muscle fatigue are eliminated under ischemic conditions. *J Appl Physiol.* 2003;94:2414-22. PMID:12562681.
  24. Hoeger WWK, Hopkins DR, Barette SL, Hale DF. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *J Appl Sport Sci Res.* 1990;4:47-54.
  25. Marchetti PH, Uchida MC. Influência da fadiga unilateral de membro inferior sobre o salto vertical bilateral. *Rev Bras Med Esporte.* 2011;17(6):405-8. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-86922011000600007>
  26. American College of Sports Medicine. Position stand: progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687-708. PMID:19204579.
  27. Weber FS, Siva BGC, Cadore EL, Pinto SS, Pinto RS. Avaliação isocinética da fadiga em jogadores de futebol profissional. *Rev Bras Ciênc Esporte.* 2012;34(3):775-88. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-32892012000300017>
  28. Bigland-Ritchie B, McKenzie DK, Gorman RB, Gandevia SC. Central and peripheral fatigue of human diaphragm and limb muscles assessed by twitch interpolation. *J Physiol.* 1992;454:643-56. PMID:1335508 PMID:PMC1175625.
  29. Bryan LRI, Scott ML. The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *J Athl Train.* 2002;37(1):71-9. PMID: PMC164311.
  30. Lee S, Becker C, Binder-Macleod S. Activation of human quadriceps femoris muscle during dynamic contractions: effects of load on fatigue. *J Appl Physiol.* 2000;89(3):926-36. PMID:10956335.
  31. Gefen A, Megido-Ravid M, Itzhak Y, Arcan M. Analysis of muscular fatigue and foot stability during high-heeled gait. *Gait Posture.* 2002;15:56-63. [http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00180-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00180-1)
  32. Carter ND, Khan KM, Mallinson A. Knee extension strength is a significant determinant of static and dynamic balance as well as quality of life in older community-dwelling women with osteoporosis. *Gerontology.* 2002;48:360-8. PMID:12393951. <http://dx.doi.org/10.1159/000065504>
  33. Potvin JR, O'Brien PR. Trunk muscle co-contraction increases during fatiguing, isometric, lateral bend exertions. Possible implications for spine stability. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002;23(7):774/80.
  34. Duarte M, Freitas SMSF. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Rev Bras Fisioter.* 2010;14(3):183-92. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552010000300003>
  35. Miller PK, Bird AM. Localized muscle fatigue and dynamic balance. *Percept mot skills.* 1976;42:135-8. <http://dx.doi.org/10.2466/pms.1976.42.1.135>
  36. Grigg P. Peripheral neural mechanism in proprioception. *J Sport Rehabil.* 1994;3:2-17.
  37. Chabran E, Maton B, Fourment A. Effects of postural muscle fatigue on the relation between segmental posture and movement. *J Electromyogr Kinesiol.* 2002;12:67-79. [http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411\(01\)00027-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411(01)00027-X)
  38. Shumway-Cook A, Woollacott M. *Controle Motor: Teoria e aplicações práticas.* 2ª. ed. Barueri: Manole; 2003.
  39. Melzer I, Kurz I, Oddsson LA. Retrospective analysis of balance control parameters in elderly fallers and non-fallers. *Clin Biomech.* 2010;25:984-8. PMID:20696509. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.07.007>

### Correspondence

**Carlos Alberto Veiga Bruniera**

Rua João Wyclif, 255, apt. 1503

CEP 86050-450, Londrina, PR, Brasil

e-mail: cavbruniera@gmail.com