

Avaliação da Segurança do Treinamento de Força Realizado com Vibração Localizada

Assessment of the Safety of Strength Training Performed with Local Vibration

BRUNO PENA COUTO¹
MARCOS DANIEL MOTTA DRUMMOND²
YTALO MOTA SOARES³
REGINALDO GONÇALVES⁴
LESZEK ANTONI SZMUCHROWSKI⁵

RESUMO

Objetivo: O objetivo do presente estudo foi verificar a segurança do treinamento isométrico com aplicação localizada de vibração mecânica. **Material e Métodos:** Foram realizadas 4 contrações voluntárias máximas com vibração localizada aplicada na direção da resultante das forças musculares. Em 2 das contrações o equipamento de vibração foi acionado para gerar uma frequência de 8 Hz de vibração e 6 mm de amplitude. Nas outras 2 contrações o equipamento foi ajustado para gerar uma frequência de 26Hz e 6 mm de amplitude. Foram analisados os valores de transmissibilidade e o estimado valor dose de vibração (eVDV). **Resultados:** Quando foi aplicada a vibração localizada com frequência de 8 Hz foi verificada uma transmissibilidade de 0.71 e 6.9 de eVDV. Durante a vibração com frequência de 26Hz foi registrada uma transmissibilidade de 0.27 e um valor de eVDV de 14.1. **Conclusão:** Com base nos resultados encontrados no presente estudo foi possível concluir que a segurança do treinamento de força com vibração localizada, aplicada na direção da resultante das forças musculares, pode ser influenciada pela frequência de vibração utilizada.

DESCRIPTORIOS

Vibração Localizada. Treinamento de Força. Segurança.

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to verify the safety of isometric training performed with local mechanical vibration. **Material and Methods:** We performed 4 maximal voluntary contractions with local vibration applied in the direction of the resultant of the muscle forces. In two contractions, we applied local vibration with a frequency of 8 Hz and amplitude of 6 mm. For the other two contractions, the conditions were 26 Hz and 6 mm. Values of transmissibility and the estimated vibration dose value (eVDV) were analyzed. **Results:** When we applied the local vibration with frequency of 8 Hz, we observed transmissibility of 0.71 and eVDV of 6.9. During vibration with a frequency of 26Hz, the transmissibility was found to be 0.27 and eVDV was 14.1. **Conclusion:** Based on the results of our study, the safety of strength training performed with local vibration, applied in the direction of the resultant of muscle forces, can be influenced by the vibration frequency used.

DESCRIPTORS

Local Vibration. Strength Training. Security.

- 1 Professor Doutor do Departamento de Esportes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Sub Coordenador do Laboratório de Avaliação da Carga (LAC), Belo Horizonte/MG, Brasil.
- 2 Professor do curso de Educação Física, Faculdade Pitágoras Betim/MG. Doutorando em Ciências do Esporte Mestre em Ciências do Esporte da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Membro do Laboratório de Avaliação da Carga (LAC), Belo Horizonte/MG, Brasil.
- 3 Professor Mestre do Departamento de Educação Física da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Membro do Laboratório de Avaliação da Carga (LAC), João Pessoa/PB, Brasil.
- 4 Professor Doutor do Departamento de Esportes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Membro do Laboratório de Avaliação da Carga (LAC), Belo Horizonte/MG, Brasil.
- 5 Professor Doutor do Departamento de Esportes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Coordenador do Laboratório de Avaliação da Carga (LAC), Belo Horizonte/MG, Brasil.

A aplicação de vibrações mecânicas sobre os seres humanos se tornou um recurso de treinamento que pode ser utilizado na preparação de atletas e no tratamento e prevenção de doenças como osteoporose e mal de Parkinson¹.

Apesar das diferentes aplicabilidades, o treinamento com vibrações tem sido utilizado preferencialmente por indivíduos saudáveis, principalmente atletas de alto nível. A utilização deste método nas rotinas de treinamento se justifica pelo fato de que a capacidade de gerar força pode ser desenvolvida a partir de breves períodos de aplicação de vibrações mecânicas². Este método de treinamento tem ganhado popularidade e, a partir do desenvolvimento de diferentes sistemas comerciais, atingiu o cotidiano de indivíduos não atletas que frequentam academias de ginástica³.

O aumento da força muscular em indivíduos submetidos à vibração mecânica está associado ao mecanismo denominado “reflexo tônico à vibração”^{1,4}. Este mecanismo é estimulado pela sequência de alongamentos musculares rápidos que ocorrem durante a aplicação de vibração mecânica⁵. Os alongamentos musculares gerados pela vibração ativam os fusos musculares e desencadeiam uma resposta semelhante ao reflexo miotático⁶.

A vibração é usualmente aplicada em todo o corpo, por exemplo, quando um indivíduo realiza um treinamento de força sobre uma plataforma vibratória. Esse tipo de aplicação é denominado vibração de corpo inteiro (VCI)¹. Durante a VCI a aplicação da vibração mecânica é aplicada indiretamente no músculo alvo³. Neste caso, a energia da vibração pode ser atenuada quando transmitida através dos tecidos corporais, especialmente para músculos mais distantes. Conseqüentemente, músculos distantes da fonte de vibração podem não sofrer os efeitos do treinamento vibratório. Além disso, graças à distância de transmissão, torna-se difícil quantificar as frequências e amplitudes que realmente são aplicadas nos músculos alvo, dificultando também a análise da relação entre a carga vibratória e os efeitos do treinamento vibratório.

Com o intuito de aumentar o aproveitamento da energia de vibração alguns autores sugerem a utilização de vibração localizada, aplicada diretamente no ventre muscular⁷⁻⁹ ou no tendão do músculo alvo^{10,11}. Levando em consideração o fato de que o objetivo da aplicação de vibração mecânica é promover sucessivos alongamentos musculares, a vibração localizada também tem sido aplicada na direção das resultantes das forças musculares. Já foram verificados aumentos na força máxima^{12,13} e na altura de saltos verticais^{13,14} de indivíduos submetidos ao treinamento com este tipo de vibração.

Considerações quanto à segurança no treinamento vibratório são mais importantes que no treinamento de força convencional¹⁵. Isto se deve ao fato de que vibrações muito fortes podem gerar vários efeitos danosos ao organismo como dores de cabeça, hemorragias internas e até a morte¹⁵. Existem técnicas quantitativas para medir a gravidade da exposição do corpo humano à vibração^{16,17}. A transmissibilidade é um parâmetro que possibilita a verificação da transmissão da vibração da fonte a um determinado segmento corporal, geralmente a cabeça. Outro parâmetro é a dose estimada de vibração (*estimated vibration dose value* – eVDV), que se baseia na análise triaxial das acelerações geradas no treinamento com vibrações e do tempo de exposição à vibração. Este parâmetro é comumente avaliado para identificar possíveis danos à saúde dos indivíduos expostos a diferentes fontes de vibração, seja no treinamento esportivo ou em atividades cotidianas e de trabalho¹⁷.

Apesar da importância de se verificar a segurança do estímulo vibratório utilizado no treinamento¹⁶, não foram encontrados estudos que verificassem a segurança do treinamento com vibração localizada. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi verificar a segurança do treinamento isométrico com aplicação localizada de vibração mecânica na direção da resultante das forças musculares, em duas diferentes frequências.

MATERIAL E MÉTODOS

Sujeitos do Estudo

Participou do estudo um voluntário do sexo masculino. Foram adotados como critério de inclusão: ser do sexo masculino, com idade entre 18 e 35 anos, ser considerado sadio com base no PAR-Q e não apresentar ocorrência ou antecedentes de lesões articulares de membros inferiores. O projeto desse trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP/UFMG), sob parecer número ETIC 209/08.

Desenho do Estudo

Após a fase de familiarização, o sujeito do estudo foi submetido a duas situações experimentais: contração voluntária máxima com vibração de 8 Hz e contração voluntária máxima com vibração de 26 Hz. No total foram realizadas 4 contrações voluntárias máximas (CVMs), com duração de 6 segundos. Em duas das contrações o equipamento de vibração foi acionado para gerar uma frequência de 8 Hz de vibração e 6 mm de amplitude. Nas outras duas contrações o equipamento foi ajustado para gerar uma frequência de 26Hz e 6 mm de amplitude.

Para cada frequência, a primeira CVM foi realizada com o objetivo de familiarização e, portanto, não foi considerada na análise dos dados.

A vibração foi aplicada a partir de um equipamento que permite a aplicação de vibração na direção da resultante das forças musculares durante a realização de tarefas motoras envolvendo ações musculares isométricas de membros inferiores. Foi realizado o exercício de semi-agachamento isométrico, assim o voluntário realizou uma ação isométrica dos músculos flexores plantares, extensores de joelho e extensores de quadril. Tendo em vista que a resultante das forças musculares no exercício proposto ocorre na direção vertical, o equipamento desenvolvido para este estudo possibilita aplicação de vibração mecânica justamente nesta direção (figura 2). Assim, a vibração aplicada repercute em alongamentos sucessivos nos grupos musculares desejados. A vibração era gerada por um motor (2CV de potência, marca WEG modelo IP55) que tracionava um cabo e a frequência de vibração foi controlada por um inversor de frequência (marca WEG, modelo CW-10). O cabo era conectado a um cinto de fixação que ficava preso à cintura do voluntário.

A ação isométrica foi realizada com os pés paralelos e joelhos flexionados a 45° e a vibração foi aplicada a partir do momento em que o voluntário atingia um platô de força, obtido durante a ação isométrica, identificado visualmente no monitor do computador. As frequências de 8 Hz e 26 Hz, bem como a amplitude de 6 mm, foram utilizadas por terem se mostrado eficientes para o aumento da força muscular em estudos com vibração localizada aplicada na direção da resultante das forças musculares^{12,13}.

Dados de acelerometria foram utilizados para identificação das acelerações geradas e para verificação das frequências reais geradas pelo equipamento. Estes dados também foram utilizados para o cálculo do fator de transmissão (transmissibilidade) e do eVDV para as duas frequências investigadas (8 Hz e 26 Hz). Segundo Griffin¹⁸, a análise da vibração no corpo humano deve ser realizada a partir do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas (ISO 2631-1;1997), no qual os eixos X, Y e Z se equivalem respectivamente aos eixos antero-posterior, latero-lateral e vertical. Para a verificação da transmissibilidade, 3 acelerômetros biaxiais (eixos Z e X) foram utilizados simultaneamente. Conforme demonstrado na figura 1, um dos acelerômetros foi fixado no cabo do equipamento de vibração (fonte vibratória), outro acelerômetro foi fixado na palma da mão direita e um terceiro foi preso na cabeça do voluntário. Para o cálculo do eVDV, apenas 1 acelerômetro triaxial foi utilizado e foi fixado na região da cintura onde ocorreu o contato entre o equipamento de vibração e o voluntário.

Os dados de acelerometria foram registrados por meio de equipamentos da marca Mega Eletronics Ltda., Finlândia, sendo eles os acelerômetros, sistema de aquisição de sinais biológicos (ME6000 Biomonitor) e um aplicativo específico (MegaWin, versão 2.4). A frequência de aquisição de dados foi de 1000Hz. A análise dos dados relativos à aceleração foi realizada por meio do programa MatLab versão 5.3.

Foi utilizada uma plataforma de força (PLA3-1D-7KN/JBA Zb. Staniak®, Polônia, 1000 Hz), composta por uma superfície com 40x40cm. Esta plataforma possui células de força sensíveis à pressão, conectadas a um

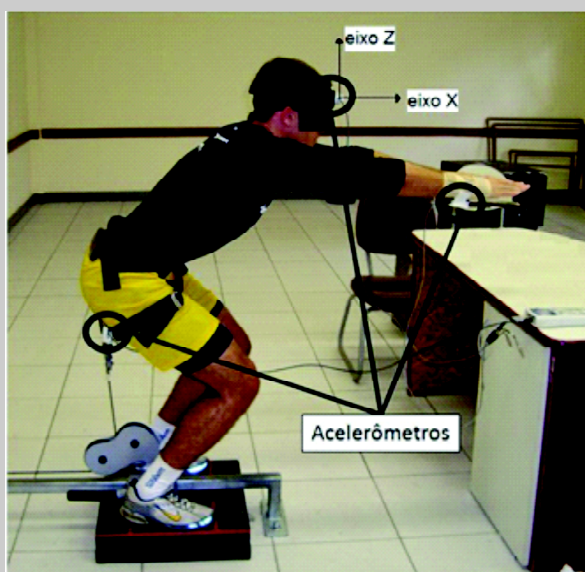


Figura 1. Posição do voluntário sobre a plataforma de força, equipamento de vibração e posicionamento dos acelerômetros.

conversor analógico-digital e amplificador de sinal (Amplificador WTM 005-2T/2P JD Jaroslaw® –Polônia) que fornece ao software (MAX versão 5.5 - Zb.Staniak® – Polônia) os valores de força e tempo. A calibração foi realizada a partir dos procedimentos presentes no manual do equipamento e foi utilizada uma massa de 10 kg.

Tratamento Estatístico

Foi realizada a análise descritiva dos dados. O fator de transmissão de vibração (transmissibilidade) do equipamento para a cabeça foi determinado a partir da seguinte equação:

$$FT = \text{RMS}_{\text{cabeça}} / \text{RMS}_{\text{fonte vibratória}} \quad (1)$$

Neste caso, FT representa o fator de transmissão, RMS representa a média (root mean square) das acelerações da cabeça e da fonte vibratória^{18,19}.

A eVDV foi determinada partir da equação 2, na qual T representa o tempo de exposição diária à vibração e av o valor total da aceleração ponderada²⁰.

$$eVDV = 1,4 \cdot av \cdot T^{1/4} \quad (2)$$

O valor total da aceleração foi calculado a partir da equação 3, na qual a_w representa a aceleração ponderada (rms) para cada eixo e $k_x = 1,4$, $k_y = 1,4$, e $k_z = 1$ o coeficiente definido na ISO 2631-1(1997) para cada eixo analisado.

$$av = (k^2x a^2wx + k^2y a^2wy + k^2z a^2wz)^{1/2} \quad (3)$$

RESULTADOS

A partir da análise dos dados de acelerometria foram identificadas frequências dominantes de aproximadamente 8 Hz e 26 Hz e suas respectivas harmônicas. Na figura 2 estão exibidos os gráficos da aceleração no domínio da frequência no eixo Z obtidos nas frequências de 8Hz (gráfico A) e 26Hz (gráfico B).

Na Tabela 1 estão expostas as acelerações obtidas pelos acelerômetros biaxiais (eixos Z e X) posicionados no equipamento, na mão e na cabeça do voluntário. Os valores de transmissibilidade da fonte vibratória (equipamento) para a cabeça no eixo Z também estão disponíveis na tabela a seguir.

A seguir, na tabela 2, estão expostos os valores de aceleração (rms) nos eixos Z, X e Y, utilizados para o cálculo de eVDV. Foi considerado o tempo de 72 segundos de aplicação diária de vibração no cálculo de eVDV, equivalentes a 12 ações musculares de 6 segundos^{12,13}. Foram encontrados valores de eVDV de 6,9 para a frequência de 8Hz e 14,1 para a frequência de 26Hz.

DISCUSSÃO

No presente estudo foram verificados os parâmetros de segurança do treinamento de força realizado com vibração localizada, em duas diferentes frequências. Foram analisados os valores de transmissão de vibração, aplicada na direção da resultante das forças musculares, durante o treinamento

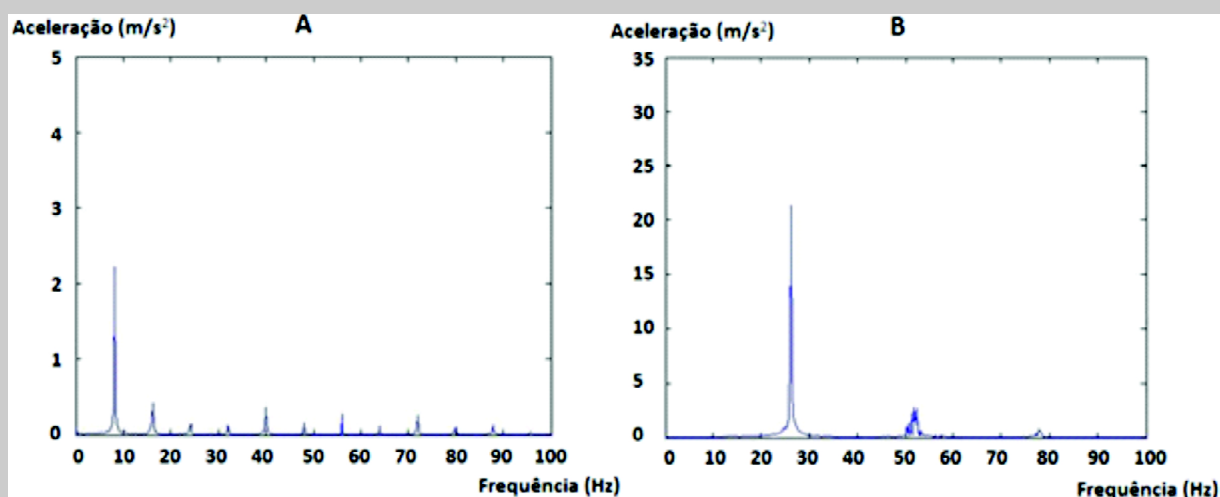


Figura 2. Aceleração no domínio da frequência registradas no eixo Z obtida nas frequências de 8Hz (gráfico A) e 26Hz (gráfico B).

Tabela 1 – Valores de aceleração (m/s²) e transmissibilidade do equipamento para a cabeça.

Frequência	Aceleração no Equipamento (m/s ²)		Aceleração na Mão (m/s ²)		Aceleração na Cabeça (m/s ²)		Transmissibilidade (eixo Z)
	Z	X	Z	X	Z	X	
8 Hz	3,5	1,9	1,2	1,2	2,5	7,0	0,71
26 Hz	34,5	36,0	1,2	2,4	9,4	3,5	0,27

Tabela 2 – Valores de aceleração e eVDV para a frequência de 8Hz.

Frequência (Hz)	Eixo	Aceleração (m/s ²)	eVDV
8 Hz	Z	3,9	
8 Hz	X	2,1	6,9
8 Hz	Y	1,7	
26 Hz	Z	8,0	
26 Hz	X	5,1	14,1
26 Hz	Y	2,9	

isométrico. Para Griffin¹⁸, os efeitos da vibração no corpo humano dependem da maneira pela qual a vibração é transmitida através do próprio corpo. Esta transmissão pode ser analisada a partir da mensuração da transmissibilidade. A transmissibilidade entre a fonte vibratória e a cabeça do indivíduo é muito importante, e **recomendam a utilização de frequências superiores a 20 Hz durante o treinamento com VCI¹⁵. Estes autores afirmam que os maiores valores de transmissibilidade são encontrados entre 5 e 10 Hz. Os resultados encontrados no presente trabalho corroboram com estes autores, uma vez que os maiores valores de transmissibilidade foram encontrados durante a utilização da frequência de 8 Hz.**

Para Griffin¹⁸, em vibrações verticais, geralmente os maiores movimentos da cabeça no eixo X ocorrem quando o indivíduo é submetido às frequências de vibração entre 5 e 10 Hz, e no eixo Z em vibrações superiores à 20 Hz. Este fenômeno foi verificado no presente trabalho, uma vez que as maiores acelerações na cabeça, no eixo X, foram encontradas durante o treinamento com frequência de 8 Hz. Além disso, as maiores acelerações na cabeça, no eixo Z, foram encontradas durante o treinamento com frequência de 26 Hz.

Os efeitos da vibração sobre a região da cabeça merecem atenção especial¹⁵. Assim, a transmissibilidade entre a fonte vibratória e a cabeça do indivíduo é muito importante. Esta foi justamente a transmissibilidade analisada no presente trabalho.

O corpo humano possui uma vibração natural. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica na amplificação do movimento¹⁶. Em frequências próximas

à frequência de ressonância a transmissibilidade da vibração é máxima¹⁶. Sistemas mais complexos, como o corpo humano, possuem mais de uma frequência de ressonância¹⁷. Durante a aplicação de VCI as frequências de ressonância variam de 5 a 10Hz²¹. Entretanto, a preocupação com as cargas de vibração não devem se limitar à análise total das cargas sobre o centro de massa. Frequências superiores às frequências de ressonância podem gerar cargas internas máximas, em diferentes segmentos corporais, e, por isso, merecem atenção especial quanto à segurança do treinamento vibratório. Assim, recomenda-se a utilização de frequências superiores a 20Hz durante o treinamento com VCI¹⁵. **É importante ressaltar que a recomendação para a utilização de vibrações superiores a 20 Hz diz respeito à VCI. No presente estudo foi utilizada a vibração localizada na direção da contração muscular.**

Além disso, afirmam que o fator de transmissão não depende exclusivamente da frequência de vibração¹⁵. Fatores como a posição corporal, a utilização ou não de pesos resistidos, a rigidez muscular e a massa corporal podem influenciar nesta transmissibilidade. Como no presente estudo foi utilizado apenas um voluntário, recomenda-se para estudos futuros a utilização de mais voluntários, com diferentes perfis antropométricos e com diferenças na capacidade de gerar força.

A gravidade da exposição à vibração sobre o corpo humano pode ser verificada a partir do índice eVDV^{16,17}. Este índice é determinado a partir da direção, frequência, magnitude e duração da vibração aplicada ao corpo humano. Considera-se lesivo ao organismo humano valores de eVDV superiores a 17²⁰. No presente estudo foram verificadas as doses estimadas de vibração

(eVDV) durante o treinamento isométrico com vibração aplicada na direção da resultante das forças musculares. As duas frequências analisadas, a partir do protocolo de treinamento utilizado, apresentaram valores de eVDV inferiores a 17, sendo 6.9 para a frequência de 8Hz e 14.1 quando foi utilizada a frequência de 26Hz.

Tendo em vista o fato de que diferentes frequências de vibração podem gerar efeitos semelhantes sobre o desempenho esportivo¹³, um critério que pode ser aplicado para a escolha da frequência nas rotinas de treinamento é a segurança da atividade prescrita. Assim o treinamento proporcionará seus benefícios, sem trazer quaisquer prejuízos à saúde dos indivíduos expostos à vibração, seja em curto, médio ou longo prazo.

REFERÊNCIAS

- Ritwegger J, Beller G, Felsengerg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin. Physiol.*, 2000; 20(2): 134-142.
- Rehn B, Lidstrom J, Skogolund JE, Lindstrom B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2007; 17 (1): 2–11.
- Luo J, Mcnamara B, Moran K. The Use of Vibration Training to Enhance Muscle Strength and Power. *Sports Med.* 2005b. 35(1):23-41.
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1999; 79 (4): 306-311.
- Bosco C, Colli R, Intorini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, Tihanyi J, Viru A. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin. Physiol.* 1999; 19(2): 183-187.
- Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2003; 31(1):3-7.
- Lapole T, Chantal P. Effects of repeated Achilles tendon vibration on triceps surae force production. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010; 20 (4): 648–654
- Martin BJ, Park H. Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1997; 75 (6): 504-511.
- Luo J, Mcnamara B, Moran K. Influence of Resistance Load on Electromyography Response to Vibration Training with Sub-maximal Isometric Contractions. *Intern. J. Sports Sciand. Eng.* 2007; 1(1): 45-54.
- Cronin J, Nash M, Whatman C. The acute effects of hamstring stretching and vibration on dynamic knee joint range of motion and jump performance. *Phys. Ther. Sport.* 2008; 9 (2): 89–96.
- Humphries B, Warman G, Purton J, Doyle TL, Dugan E. The Influence of Vibration on Muscle Activation and Rate of Force Development during Maximal Isometric Contractions. *J Sports Sci Med.* 2004; 3(1):16-22.
- Silva HR, Couto BP, Szmuchrowski, LA. Effects of mechanical vibration applied in the opposite direction of muscle shortening on maximal isometric strength. *J. Strength Cond. Res.*, 2008; 22 (4): 1031–1036.
- Couto BP, Silva HR, Barbosa MP, Szmuchrowski LA. Chronic effects of different frequencies of local vibrations. *Int J Sports Med.* 2012; 33 (2): 123-129
- Couto BP, Costa G, Pinotti M, Chagas, MH, Szmuchrowski LA. Efeito da aplicação de vibração mecânica sobre a impulsão vertical. *Motriz: Revista de Educação Física.* 2012; 18 (3): 414-422.
- Mester J, Spitzenfeil P, Yue Z. Vibration loads: potential for strength and power development. In: KOMI, P.V. (org): *Força e Potência no Esporte.* Porto Alegre: Editora Artmed. 2006.
- Cardinale M, Pope MH. The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta. Physiol. Hung.*, 2003; 90 (3): 195-206.
- Mansfield NJ. Human Response to Vibration. CRC Press: Editor Nova York, 2005.**
- Griffin MJ. *Handbook of Human Vibration.* Elsevier Academic Press, San Diego, 1996.
- Mester J, Spitzenfeil P, Schwarzer, J, Seifriz F. Biological reaction to vibration - implications for sport. *J. Sci. Med. Sport.* 1999; 2(3): 211-226.
- Abercromby AFJ, Amonette WE, Layne CS, Mcfarlin BK, Hinman MR, Paloski WH. Vibration Exposure and Biodynamic Responses during Whole-Body Vibration Training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007; 39(10): 1794-1800.
- Yue Z, Mester J. A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbling mass during the whole-body vibration. *J Biomec.*, 2002;35 (5): 639–647.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados no presente estudo foi possível concluir que a segurança no treinamento de força com vibração localizada, aplicada na direção da resultante das forças musculares, pode ser influenciada pela frequência de vibração utilizada. Foi possível concluir ainda que as frequências de 8Hz e 26Hz podem ser utilizadas com segurança, quando a duração do treinamento for adequada, e que quando se utiliza a frequência de 8Hz são observados maiores valores de transmissibilidade enquanto a utilização de 26Hz gera maiores valores de eVDV.

Correspondência

Bruno Pena Couto
Departamento de Esportes – Escola de Educação Física,
Fisioterapia e Terapia Ocupacional– Universidade Federal
de Minas Gerais
E-mail: brunopena@yahoo.com.br