

Efeito da exposição vibratória na performance muscular e no equilíbrio corporal. Estudo *crossover* aleatório

Saila Torvinen^{1,2}, Pekka Kannus^{1,2}, Harri Sievänen¹, Tero A.H. Järvinen², Matti Pasanen¹, Saija Kontulainen¹, Teppo L.N. Järvinen², Markku Järvinen², Pekka Oja¹ e Ilkka Vuori¹

¹Grupo de Investigação Óssea, Instituto UKK, Tampere, Finlândia, e ²Escola Médica e Instituto de Tecnologia Médica, Universidade de Tampere e Departamento de Cirurgia Hospital Universitário Tampere, Tampere, Finlândia

Resumo

Endereço

Saila Torvinen MD, UKK Institute,
Kaupinpuistonkatu 1, FIN-33500 Tampere,
Finland
E-mail: losato@uta.fi

Aceite para publicação

Recebido a 19 Setembro 2001;
Aceite a 6 Dezembro 2001

Palavras-chave

Equilíbrio corporal; electromiografia; performance muscular; vibração de corpo inteiro

Este estudo *crossover* aleatório foi concebido para investigar os efeitos da aplicação de forças de vibração de 4-min na performance muscular e no equilíbrio corporal em indivíduos jovens e saudáveis. Dezasseis voluntários (oito homens, oito mulheres, idade 24±33 anos) submeteram-se tanto a uma intervenção de vibração de 4-min como a uma intervenção simulada numa ordem aleatória em dias diferentes. Foram realizados seis testes de performance (plataforma de estabilidade, força de aperto, força isométrica de extensão dos membros inferiores, andar de tandem, impulsão vertical e corrida de vaivém 10 min antes (iniciais), e 2 e 60 min depois da intervenção. Foi também investigado o efeito de vibração com a electromiografia de superfície (EMG) do músculo sóleo, gastrocnémio e músculo vasto lateral. A carga vibratória, com base numa plataforma inclinável, provocou um benefício líquido momentâneo (significativo no teste de 2-min) 2.5% no salto em altura ($P=0.019$), um benefício de 32% na força isométrica de extensão das extremidades inferiores ($P=0.020$) e uma melhoria de 15.7% no equilíbrio corporal ($P=0.049$). Nos outros testes de 2-min ou de 60-min, não se registaram diferenças estatisticamente significativas entre a intervenção vibratória e a simulada. Uma diminuição na frequência da potência média na EMG de todos os músculos durante a vibração indicou evolução de fadiga muscular, enquanto que o valor quadrático médio do sinal EMG aumentou nos músculos da barriga da perna. Neste estudo mostramos que uma única aplicação de forças de vibração de corpo inteiro melhora momentaneamente a performance muscular dos membros inferiores e o equilíbrio corporal em adultos jovens e saudáveis.

Introdução

A estimulação mecânica na forma de vibração originou recentemente um grande interesse nas áreas de aplicação da fisiologia e da investigação óssea (Rubin & McLeod, 1994; Rubin et al., 1995, 1998, 2001 a, b; Fliieger et al., 1998; Bosco et al., 1999 a, b; Falempin & Albon, 1999; Rittweger et al., 2000). Foi colocada a hipótese da estimulação mecânica de baixa amplitude e alta-frequência do corpo inteiro ser um meio seguro e eficiente de melhorar a força muscular, o equilíbrio corporal e a competência mecânica do osso.

Embora os estímulos de vibração sejam amplamente aplicados nos atletas como uma parte do seu regime de treino e possa ser uma forma promissora de melhorar simultaneamente as características musculares e ósseas, só alguns estudos experimentais e clínicos investigaram os seus verdadeiros efeitos (Fliieger et al., 1998; Bosco et al., 1999b; Falempin et al., 1999; Rubin et al., 2001a, b).

De acordo com a literatura com revisão paritária publicada, uma única aplicação de forças de vibração (10 min a uma frequência de 26 Hz) tem mostrado resultar num aumento significativo temporário na força muscular de jogadoras de voleibol (Bosco et al., 1999b), e os estímulos vibratórios têm mostrado prevenir a perda óssea provocada pela ovariectomia nos ratos (Fliieger et al., 1998).

Apesar dos preliminares resultados experimentais e clínicos positivos (Rubin et al., 1994, 1995, 1998, 2001a, b; Fliieger et al., 1998; Bosco et al., 1999a, b; Falempin et al., 1999; Rittweger et al., 2000), continuam a faltar provas conclusivas no que diz respeito à segurança e eficácia da vibração nos seres humanos. O objectivo deste estudo foi portanto investigar os efeitos de uma única aplicação de forças de vibração de 4-min na performance muscular e no equilíbrio corporal de jovens e saudáveis voluntários através de um *design* controlado aleatório intersujeito.

Materiais e métodos

Objecto de estudo

Dezasseis voluntários jovens e saudáveis (oito homens, oito mulheres, idade 24±33 anos) participaram neste estudo. A massa corporal deles ia dos 66 aos 83 kg nos homens e dos 51 aos 70 kg nas mulheres e a altura ia de 175 a 190 cm nos homens e de 156 a 178 cm nas mulheres. Os critérios de exclusão eram: qualquer doença cardiovascular, respiratória, abdominal, urinária, ginecológica, neurológica, músculo-esquelética, ou outras doenças crónicas; gravidez; próteses; medicação que poderia afectar o sistema musculoesquelético; irregularidades menstruais e uma participação regular em tipos de exercícios de impacto mais de três vezes por semana. Todos os participantes deram o seu consentimento informado por escrito antes da integração no estudo, e o protocolo foi aprovado pelo Quadro de Revisão Institucional e Comité Ético do Instituto UKK.

Montagem do Estudo

Todos os participantes foram familiarizados com o protocolo de vibração de corpo inteiro e todas as medições resultantes uma semana antes dos verdadeiros testes de estudo. Os testes foram divididos entre dois dias diferentes consecutivos para evitar a fadiga e conseqüentemente a possível contaminação dos resultados, i.e. a intervenção vibratória e a simulada foi realizada duas vezes em todos os participantes juntamente com outras medições de resultados (Fig. 1)

Em cada participante, o intervalo entre a intervenção vibratória e simulada foi de 1-2 semanas.

No início de cada sessão de estudo, era realizado um aquecimento de 4-min numa bicicleta ergométrica (carga de trabalho em $W=12$ peso corporal em N). Durante os testes e as intervenções, os participantes usavam calçado de sola fina do tipo de sapatilhas de ginástica. A seguir a cada sessão de teste também era realizado um relaxamento de quatro minutos na bicicleta ergométrica (Fig.1). Não era permitido o consumo de álcool ou a realização de uma actividade física vigorosa durante o dia anterior à sessão de treino nem no dia de teste.

Assim, todos os participantes receberam tanto a intervenção vibratória como a intervenção simulada e foram aleatoriamente designados para começarem ou com a intervenção vibratória ou com a intervenção simulada (Fig.1) de modo a eliminar a influência da curva de aprendizagem nos resultados. Ambas as intervenções foram realizadas na posição vertical na plataforma vibratória (um protótipo da Galileo, 2000, Novotec Maschinen GmbH, Pforzheim, Alemanha), com (intervenção vibratória) ou sem (intervenção simulada) da vibração de corpo inteiro. A duração de ambas as intervenções foi de 4 min. Enquanto estavam na posição vertical nas extremidades da alavanca rígida da plataforma (cada pé mantido 0,28 m afastado do centro da plataforma) os participantes repetiram quatro vezes um programa de exercício leve 60-s de acordo com as instruções mostradas pelo investigador. A razão do programa de exercício consistia em garantir uma carga vibratória multidireccional e equilibrada no corpo e fazer com que o ficar de pé na plataforma fosse menos monótono.

O programa envolvia agachamento leve (0 ± 10 s),

Carga Simulada		Carga de Vibração	
Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2
Pré-testes: 1. Plataforma de estabilidade 2. Força de aperto 3. Força de extensão	Pré-testes: 1. Andar de tandem 2. Impulsão vertical 3. Corrida de vaivém	Pré-testes: Plataforma de estabilidade Força de aperto Força de extensão	Pré-testes: 1. Andar de tandem 2. Impulsão vertical 3. Corrida de vaivém
10 min		10 min	
Carga simulada (4 min)	Carga simulada (4 min)	Carga de vibração (4 min)	Carga de vibração (4 min)
Testes-pós 2 min: ver acima	Testes-pós 2 min: ver acima	Testes-pós 2 min: ver acima	Testes-pós 2 min: ver acima
Testes-pós 60 min: ver acima	Testes-pós 60 min: ver acima	Testes-pós 60 min: ver acima	Testes-pós 60 min: ver acima
Relaxamento, 4 min		Relaxamento, 4 min	

Figura 1 Protocolo de estudo

manter-se numa posição erecta (10–20 s), numa posição erecta relaxada com os joelhos ligeiramente flectidos (20–30 s), um exercício de impulsão leve (30–40 s), alternar o peso corporal de uma perna para a outra (40–50 s), e manter-se em calcanhares (50–60 s). Durante a intervenção vibratória, a frequência da vibração aumentou em intervalos de 1 min: 15 Hz para o primeiro minuto, 20 Hz para o segundo minuto, 25 Hz para o terceiro minuto e 30 Hz para o último minuto. A amplitude pico-a-pico da vibração na extremidade da plataforma inclinável de 0.72 m foi de 10 mm. Tendo em conta a amplitude de 0.28 m do local (onde os pés foram mantidos) e a natureza sinusoidal da carga, a aceleração teórica máxima era de quase 3.5 g (sendo g o campo gravitacional de Terra ou seja 9.81 m s^{-2}) com 15 Hz de carga, 6.5 g com 20 Hz, 10 g com 25 Hz, e 14 g com 30 Hz, respectivamente.

Testes de Performance

As medições da performance inicial começaram 2 min depois do aquecimento. Dez minutos depois das medições iniciais, os participantes foram expostos a uma das intervenções acima mencionadas, intervenção vibratória ou simulada. As mesmas medições da performance foram realizadas novamente 2 e 60 min depois da intervenção vibratória e da intervenção simulada de 4-min (Fig. 1).

Os testes de performance foram divididos entre dois dias para evitar a contaminação potencial dos resultados devido à fadiga. No dia 1, foram realizados os testes de estabilidade na plataforma, medições da força de aperto, e da força isométrica de extensão dos membros inferiores. No dia 2, os testes consistiram no teste de andar de tandem, de impulsão vertical e de corrida de vaivém. As medições foram sempre feitas na mesma ordem. As reprodutibilidades diárias (expressas como um coeficiente do valor quadrático médio da variação $CV\%_{rms}$) dos testes de performance foram determinadas usando os dados iniciais duplicados, medidos antes da intervenção vibratória e da intervenção simulada e estão mencionadas na secção "Resultados" (ver abaixo).

Foi usada uma plataforma de balanço postural (Biodex Stability System, New York, NY, USA) para avaliar o equilíbrio corporal (Schmitz & Arnold, 1998). Os participantes colocaram-se numa plataforma instável com as duas pernas, olhos abertos e braços junto ao tronco. A plataforma fornece oito níveis diferentes de estabilidade: o nível 8 é praticamente estável e o nível 1 é o mais instável. Como teste, aplicamos um protocolo de 40-s em intervalos sucessivos de 10 s: nível 5 (0–10 s), nível 4 (10–20 s), nível 3 (20–30 s), e nível 2 (30–40 s). O sistema fornece um índice de estabilidade numérico, o qual reflecte a variação do balanço corporal à volta da projecção do centro de gravidade do corpo (centro da pressão do pé) de modo que quanto mais baixo o resultado do teste for melhor é a estabilidade (Schmitz et al., 1998). Cada coordenada da posição dos pés do participante na plataforma foram registados depois da primeira medição de estabilidade e as mesmas coordenadas foram usadas ao longo do estudo para obter uma consistência entre os testes. O valor médio de dois índices de estabilidade foi usado como resultado do teste. Antes de cada teste os participantes tiveram de uma a duas provas de familiarização.

A força de aperto foi considerada como um teste de referência que não se esperava que viesse a ser afectada pela intervenção vibratória ou pela simulada.

Foi medida usando um medidor padrão da força de aperto (Digitest, Muurame, Finlândia). O valor mediano das três leituras foi usado como um resultado de teste.

A força isométrica máxima dos extensores da perna foi medida com um dinamómetro em forma de prensa para pernas padrão (Heinonen et al., 1994). Os participantes sentaram-se na cadeira do dinamómetro com os joelhos e tornozelos num ângulo de flexão de 90° enquanto pressionavam os extensómetros (Tamtron, Tampere, Finlândia) ao máximo com os pés. A força isométrica foi registada para três esforços máximos, e o valor mediano das três leituras foi usado como resultado do teste.

O teste de andar de tandem ao longo de uma linha com 6-m foi usado para avaliar o equilíbrio dinâmico (Nelson et al., 1994). Foi dito aos participantes para colocarem um pé atrás do outro, certificando-se sempre que a ponta de um pé estava em contacto com o calcanhar do outro. Foi lhes dito para andarem para trás o mais rápido possível enquanto evitavam qualquer erro. O tempo de uma execução bem feita foi medido com um cronómetro. O valor mediano de três leituras foi usado como resultado do teste.

O teste de contra movimento de impulsão vertical (mãos mantidas na pélvis) foi usado para avaliar a capacidade de performance explosiva dos membros inferiores (Bosco et al., 1983). Os testes foram realizados numa plataforma de contacto (Newtest, Oulu, Finlândia), que indica o tempo que o indivíduo esteve no ar em milissegundos. O tempo de "voo" obtido (t) foi usado para estimar a altura da elevação do centro de gravidade do corpo (h) durante a impulsão vertical, i.e. $h = gt^2/8$ onde $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$. O valor mediano das três leituras foi usado como resultado do teste.

O teste de corrida de vaivém numa pista de 30-m foi usado para avaliar o equilíbrio ou agilidade dinâmica (Baker et al., 1993). Foi pedido aos participantes para correrem o mais depressa que conseguissem seis vezes entre as marcas colocadas 4 m afastadas umas das outras e tocar no chão depois de cada corrida de 4-m, e finalmente correrem os 6-m da pista de corrida até à linha de chegada. Foi realizada uma única prova e o tempo de corrida foi registado com células fotoeléctricas em milissegundos.

Medições eletromiográficas (EMG)

O EMG de superfície bipolar dos músculos sóleo, gastrocnémio e vasto lateral (dos quadríceps) foi registado através de um consagrada amplificador diferencial (Myosystem 1008, Noraxon, Oulu Finlândia; impedância de input > 1 MΩ, ganho 1000, e 3-dB largura de banda 20–350 Hz) durante a aplicação de forças da intervenção vibratória de 4-min. Os eléctrodos descartáveis foram situados nos abdominais aproximadamente no ponto intermediário entre o centro da zona de inervação e do tendão posterior. Antes de colocar os eléctrodos, a pele foi cuidadosamente depilada, esfregada e limpa com álcool. Um bom contacto dos eléctrodos foi posteriormente assegurado com fita adesiva.

Os sinais do EMG foram digitalizados a uma frequência de amostra de 1 kHz (DT2801 12-bit A/D-converter, Data Translation, Marlborough, MA, USA) durante os períodos de 4 min e guardados para análises mas aprofundadas com um software dedicado (NST, Noraxon, Oulu, Finlândia).

O 1024-point Fast Fourier Transform foi usado para determinar os espectros de potência dos sinais EMG recolhidos. Foram determinados quatro espectros separados em intervalos de 1s num período de 4-s no meio da fase erecta relaxada (estabilizando apenas a actividade muscular presente), e a média destes espectros foi determinada. A qualidade do sinal EMG foi visivelmente verificada antes da análise espectral. Deste espectro médio, foi calculada uma média representativa da frequência da potência (MPF em Hz) e uma tensão do valor quadrático médio (RMS, em mV) do sinal EMG para cada minuto de intervenção, e estas variáveis usadas como resultados do teste.

Análise Estatística

O desvio padrão (DP) médio, e intervalo de confiança 95% (95% IC) são dados como estatísticas descritivas.

Os efeitos 2 e 60-min da vibração de corpo inteiro na performance física individual foram definidos como as diferenças relativas entre as alterações no resultado de teste recolhido observado depois da intervenção vibratória (V)- e da intervenção simulada (S)-. As diferenças relativas foram alcançadas através de uma transformação de registo das variáveis. O efeito-tempo nos 2 e nos 60 min foi determinado através da análise de sentido único da variação (ANOVA) com medições repetidas.

As medições repetidas ANOVA também foram usadas para estimular o efeito de tempo nas variáveis EMG (MPF e RMS) durante as intervenções vibratórias.

As associações entre a frequência de potência média e o valor quadrático médio dos minutos-valores foram analisadas através dos coeficientes de correlação de Pearson.

Resultados

Todos os participantes completaram o estudo sem qualquer efeito secundário objectivo. Não foi relatada nenhuma reacção adversa subjectiva nem fadiga exaustiva depois do acesso vibratório de 4-min. A maioria dos indivíduos referiu que a vibração de corpo inteiro foi "estimulante" para os membros inferiores.

Uma vez que a resposta à intervenção vibratória e estimulada não mostrou diferenças de género, os dados das mulheres e dos homens foram reunidos e analisados em conjunto.

Performance Muscular e Equilíbrio Corporal

A reprodutibilidade diária ($CV\%_{rms}$) foi de 23% para a força isométrica de extensão dos membros inferiores, 25% para a impulsão vertical, 36% para a força de aperto, 175% para a plataforma de estabilidade, 82% para o andar de tandem e 18% para a corrida de vaivém.

Testes de Força

A força isométrica de extensão dos membros inferiores aumentou 2.0 kg 2 min após a intervenção vibratória comparada com um decréscimo médio de 3.4 kg depois da intervenção simulada resultando num benefício líquido ($P=0.02$) estatisticamente significativo de 3.2% para a vibração (Tabela 1 e Fig. 2a). 60 min depois da intervenção vibratória o benefício diminuiu (2.4%, $P=0.11$).

A altura da impulsão vertical aumentou 0.7 cm 2 min após a intervenção vibratória comparada com um valor não alterado depois da intervenção simulada resultando num benefício líquido ($P=0.019$) significativo de 2.5% para a vibração (Tabela 1 e Fig. 2b). O efeito desapareceu completamente 60 min depois da intervenção.

Como esperado, não foi observado nenhum efeito na força de aperto/pressão 2 e 60 min depois da intervenção vibratória (Tabela 1 e Fig. 2c). As respostas foram praticamente idênticas depois da intervenção simulada ou da vibratória.

Testes de Estabilidade

O benefício líquido da vibração foi de 15.7% no resultado da plataforma de estabilidade em testes de 2-min (vs. intervenção simulada, $P=0.049$) (Tabela 1 e Fig. 2d). Não foi observado nenhum efeito no teste de 60-min nem nos outros testes de equilíbrio e performance (Tabela 1 e Fig. 2e-f).

EMG

Frequência de potência média

A frequência de potência média da actividade do músculo sóleo diminuiu sistematicamente durante a vibração de 4-min, estando os valores de 4-min em média 188% abaixo dos valores dos valores 1-min. A magnitude de diminuição no MPF durante a vibração também foi estatisticamente significativa ($P<0.001$) (Tabela 2 e Fig. 3a). Foi observado um padrão semelhante no MPF da actividade do músculo gastrocnémico. OMPF diminuiu ao longo da vibração ($P<0.001$) e os valores de 4-min estavam em média 183% abaixo dos valores 1-min (Tabela 2 e Fig. 3b).

A diminuição na MPF da actividade do músculo vasto lateral não foi tão evidente e sistemática como nos músculo sóleo e gastrocnémico durante os primeiros 3 min, mas durante o último minuto da intervenção vibratória ocorreu um rápido decréscimo de 86% ($P<0.001$) (Tabela 2 e Fig. 3c).

Valor quadrático médio da tensão

O valor quadrático médio da tensão da actividade EMG dos músculos sóleo e gastrocnémico aumentou durante os 4-min da intervenção vibratória, estando os valores de 4-min em média 21.6% ($P<0.001$) e 35.2% ($P=0.004$) acima dos valores de 1-min, respectivamente (Tabela 2 e Fig. 3a, b). O valor quadrático médio da tensão da actividade EMG do músculo vasto lateral foi razoavelmente estável ao longo dos 4-min da intervenção vibratória e não mostrou nenhum efeito do tempo estatisticamente significativo (Tabela 2 e Fig. 3c).

Os coeficientes de correlação de Pearson foram calculados para cada participante, assim como o coeficiente de correlação médio, para analisar a relação entre a frequência de potência média e o valor quadrático médio dos valores-minuto. A média destes coeficientes de correlação individuais foi de -0.79 para o músculo sóleo, -0.83 para o músculo gastrocnémico e -0.61 para o músculo vasto lateral.

Tabela 1 Os parâmetros do teste de performance depois das intervenções vibratória e da simulada de 4-min. Valores médios (DP) e média (95% CI e valor-P) entre as diferenças líquidas entre grupos para a alteração relativa ao longo do tempo.

Variáveis	Carga simulada	Carga vibratória	Diferenças líquidas entre grupos para a alteração relativa ao longo do tempo (%) ^a		
			95% CI ^a	Valor-P ^a	
Força de extensão do membro inferior (kg)					
Início	185.1 (53.8)	182.9 (54.9)			
2 min	181.7 (53.0)	184.9 (53.8)	3.2	0.6 a 5.9	0.020
60 min	179.1 (53.1)	181.3 (55.5)	2.4	-0.6 a 5.5	0.11
Impulsão Vertical (cm)					
Início	31.3 (9.2)	31.2 (9.1)			
2 min	31.3 (9.8)	31.9 (9.6)	2.5	0.5 a 4.6	0.019
60 min	30.6 (9.1)	30.6 (9.0)	0.1	-4.0 a 4.4	0.97
Força de aperto (kg)					
Início	36.6 (13.0)	36.7 (13.3)			
2 min	36.3 (12.7)	36.4 (13.0)	0.2	-3.2 a 3.9	0.88
60 min	37.4 (13.5)	37.0 (12.5)	-0.1	-3.1 a 3.1	0.97
Plataforma de estabilidade (índice de estabilidade)					
Início	2.4 (0.8)	2.6 (1.0)			
2 min	2.5 (0.8)	2.3 (1.1)	-15.7	-28.8 a -0.1	0.049
60 min	2.5 (1.0)	2.4 (0.8)	-8.8	-32.6 a 23.5	0.53
Andar de tandem					
Início	12.1 (3.3)	11.9 (3.4)			
2 min	11.2 (2.6)	11.2 (3.4)	0.5	-5.4 a 6.8	0.87
60 min	11.2 (2.6)	11.1 (2.6)	1.6	-6.0 a 9.9	0.67
Corrida vaivém (s)					
Início	10.5 (1.2)	10.5 (1.1)			
2 min	10.4 (1.3)	10.3 (1.2)	-1.1	-2.9 a 0.7	0.22
60 min	10.4 (1.4)	10.4 (1.2)	-0.5	-3.1 a 2.0	0.66

^a Análise de sentido único da variação com medições repetidas

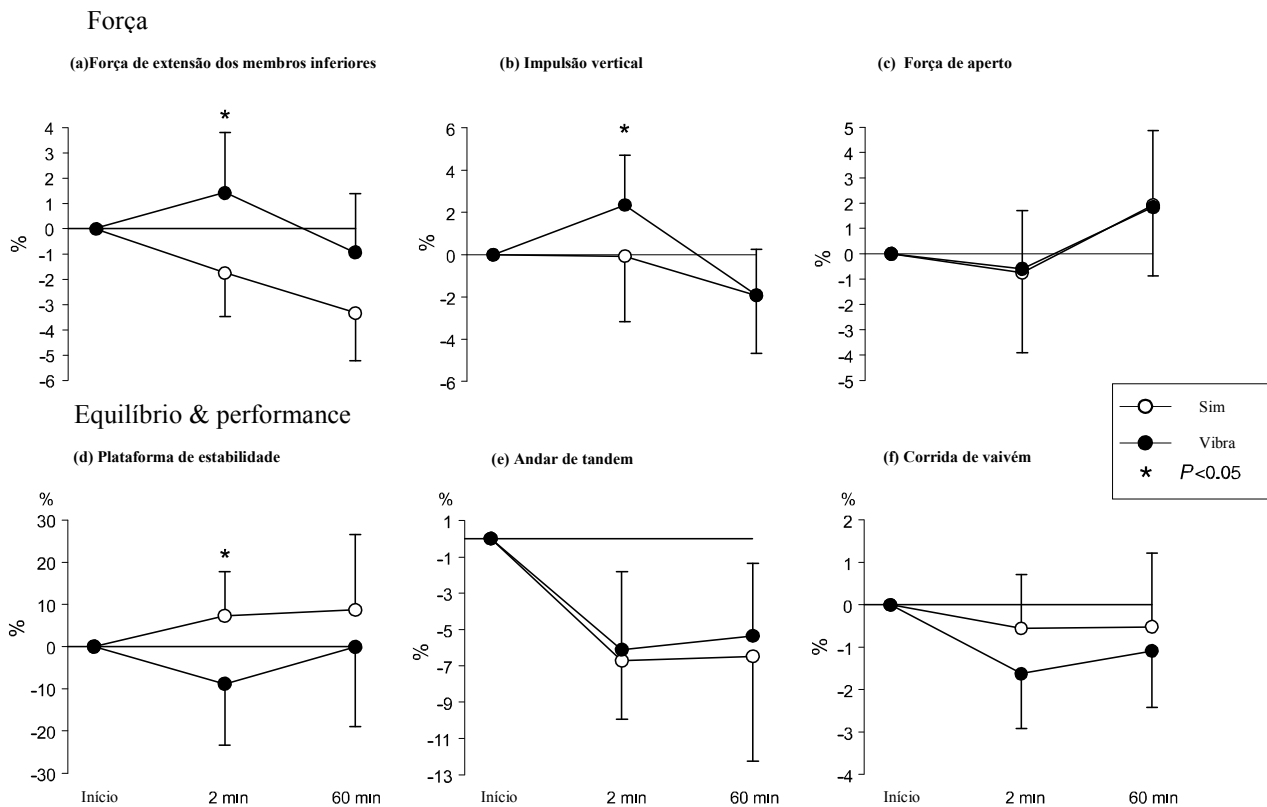


Figura 2 As alterações percentuais nos testes de força, equilíbrio, e performance 2 e 60 min depois da intervenção vibratória e simulada de 4-min. Média e intervalo de confiança de 95%. *P<0.05.

Tabela 2 Frequência de potência média (Hz) e valor quadrático médio de tensão (mV) dos sinais EMG dos músculos sóleo-, gastrocnémio- e vasto lateral como determinado pelo EMG de superfície durante a carga de vibração de 4-min. Média de (DP) e valores-P.

	Soleo		Gastrocnémio		Vasto lateral	
	Frequência de potência média (Hz)	Valor quadrático médio de tensão (mV)	Frequência de potência média (Hz)	Valor quadrático médio de tensão (mV)	Frequência de potência média (Hz)	Valor quadrático médio de tensão (mV)
1 min	97.6 (7.9)	1.3 (0.5)	100.6 (10.2)	1.3 (0.8)	89.3 (6.8)	1.3 (0.5)
2 min	88.2 (10.9)	1.4 (0.7)	94.1 (8.5)	1.3 (0.9)	85.7 (7.1)	1.2 (0.6)
3 min	84.5 (11.5)	1.5 (0.8)	87.4 (9.9)	1.5 (1.0)	86.2 (9.1)	1.2 (0.6)
4 min	79.3 (10.2)	1.5 (0.8)	81.8 (7.0)	1.5 (0.9)	78.6 (7.8)	1.3 (0.7)
	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P = 0.004	P<0.001	P = 0.137
	P _{tendência linear} <0.001	P _{tendência linear} <0.001	P _{tendência linear} <0.001	P _{tendência linear} = 0.002	P _{tendência linear} <0.001	P _{tendência linear} = 0.394
	P _{desv. da tendência} = 0.034	P _{desv. da tendência} = 0.078	P _{desv. da tendência} = 0.92	P _{desv. da tendência} = 0.32	P _{desv. da tendência} = 0.047	P _{desv. da tendência} =

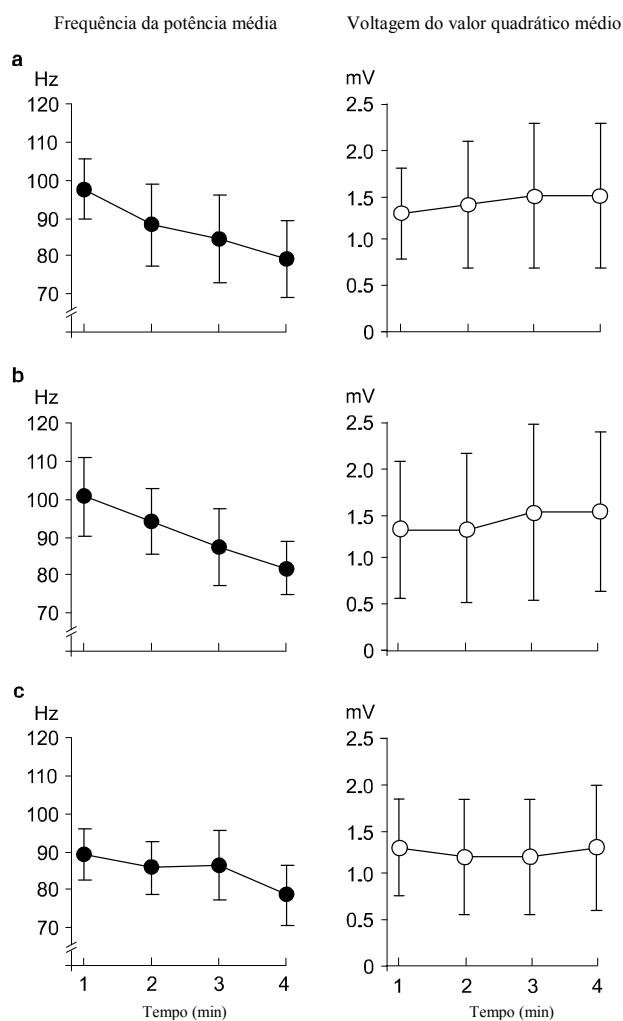


Figura 3 As alterações na frequência de potência média (MPF) e nos valores quadrático médio da tensão (RMS) das EMG registadas nos músculos (a) sóleo, (b) gastrocnémio, e (c) vasto lateral durante a carga vibratória. Média e DP. As tendências nos valores MPF foram lineares ($P < 0.001$) em todos os músculos, enquanto que as tendências lineares no RMS foram estatisticamente significativas nos músculos sóleo e gastrocnémio ($P < 0.001$ e $P < 0.002$, respectivamente), mas não no músculo vasto lateral (ver Tabela 2).

Isto indicou uma notável correlação negativa entre o MPF e os valores RMS durante a vibração.

Discussão

Mostramos neste estudo *cross-over* aleatório que em adultos jovens e saudáveis uma única carga vibratória de 4-min provocou um aumento significativo momentâneo na força isométrica da extensão dos membros inferiores, altura de impulsão, e equilíbrio corporal. Estes efeitos foram observados 2 min depois da vibração, mas desapareceram mais ou menos por completo 1 h depois. Embora as melhorias nos parâmetros desta performance tenham sido bastante pequenos, a natureza sistemática destas respostas foi clara. Assim, foi evidente que os efeitos imediatos de uma pequena aplicação de força vibratória foram benéficos para a performance física.

Foi mostrado que a vibração mecânica exerce uma influência excitatória tónica nos músculos expostos a ela. A vibração aplicada directamente ao músculo ou tendão abdominal (a uma frequência de 10–200 Hz) ou ao corpo inteiro (1–30 Hz) mostrou provocar uma resposta designada “reflexo de vibração tónico” (TVR) (Hagbarth & Eklund, 1985, Seidel, 1988). A vibração provocada pela TVR envolve a activação dos fusos musculares, mediação do sinal neural por aferentes 1a (Hagbarth, 1973), e activação das fibras musculares através dos grandes neurónios α -motores. O TVR provocado pela vibração é também capaz de causar um aumento da restauração das unidades motoras através da activação dos fusos musculares e das vias polisinápticas (De Gail et al., 1966), que é visto como um aumento temporário na actividade muscular. Contudo, uma irritação a longo prazo dos fusos musculares devido à vibração leva, no fim de contas, à fadiga muscular (Eklund, 1972; Martin & Park, 1997). Isto, por sua vez, é visto como uma redução da actividade EMG, da velocidade de descarga das unidades motoras, e da força de contracção.

Inicialmente pensávamos que a carga de corpo inteiro através da vibração era fatigante. No entanto, os participantes reconheceram que a carga vibratória é mais estimulante do que fatigante. Esta opinião subjectiva foi também corroborada pelas medições objectivas (testes de performance de 2 min). A melhoria da força e da potência dos membros inferiores e o melhorado equilíbrio corporal depois da intervenção vibratória (Fig. 2a, b, d) sugerem que a adaptação

neurogénica pode ter ocorrido nos músculos dos membros inferiores como resposta à vibração.

Apesar de os participantes não terem subjectivamente considerado que a vibração fosse fatigante, e de nenhum efeito de fadiga aparente ter sido visto nas medições da performance, a análise EMG mostrou uma redução significativa do MPF durante a intervenção vibratória. A redução no MPF é, regra geral, considerada um sinal de fadiga muscular (Viitasalo & Komi, 1977; Petrofsky et al., 1982; Dowling, 1997; Jurell, 1998). A fadiga muscular identificada pela análise espectral do EMG foi mais nítida nos músculos da barriga da perna (sóleo e gastrocnémio) do que no músculo vasto lateral dos quadríceps (Fig. 3). Contrastando com a redução do MPF tanto nos músculos da barriga da perna como da coxa, o valor quadrático médio de tensão do EMG aumentou nos primeiros durante a vibração (Fig. 3). Estas descobertas sugerem que pode ter sido necessário restaurar mais unidades motoras nos músculos da barriga da perna para compensar a fadiga mais vincada presente nos músculos durante a vibração enquanto que nos músculos da coxa não foi necessária tal resposta. Uma aplicação de forças vibratórias mais longa talvez pudesse ter resultado numa resposta semelhante na actividade do músculo vasto lateral. Estas descobertas, a melhoria dos resultados dos testes de força mas com uma diminuição da actividade do EMG, sugeriram que os nossos estímulos vibratórios eram suficientes para estimular os músculos dos membros inferiores, mas demasiado curto para provocar uma fadiga muscular significativa. Pode-se suspeitar que este efeito é específico só dos estímulos vibratórios; quer dizer, se teria sido possível ter um efeito semelhante através de outras formas de estimular a actividade física, tais como uma manobra normal de aquecimento. De forma a eliminar esta possibilidade, os participantes realizaram exactamente o mesmo aquecimento na bicicleta ergométrica e realizaram o mesmo protocolo de exercício enquanto se mantinham de pé na plataforma durante a intervenção vibratória e simulada. Recorde-se que a ordem destas intervenções foi aleatória para que a influência da curva de aprendizagem fosse minimizada.

Quando se consideram os efeitos possíveis da carga vibratória no osso, é possível que estes efeitos sejam transferidos para o osso através da actividade muscular provocada pela vibração. Na realidade, de acordo com a literatura, foi sugerido que mesmo cargas extremamente pequenas provocadas por uma aceleração muito baixa ($g = 0.3$, muito mais pequena que a usada na experiência) podem ser determinantes eficazes da morfologia do osso (Rubin et al., 2001a, b). Por outro lado, as nossas observações da fadiga muscular são também de interesse. A redução no MPF indicou que na resposta a um curta aplicação vibratória, os músculos do membro inferior tendem a ficar cansados. Isto pode indicar que com uma vibração contínua, uma maior proporção da energia vibratória incidente é direccionada para os ossos, em vez de ser absorvida pelo tecido muscular (Yoshikawa et al., 1994; Millgrom et al., 1999).

As descobertas acima mencionadas sugerem que a vibração é um estímulo de treino potencialmente eficaz e que estudos futuros se devem focar em avaliar os efeitos a longo prazo da vibração de corpo inteiro no equilíbrio corporal e performance muscular, e, como objectivo mais amplo, na estrutura e força óssea.

Agradecimentos

Primeiramente, agradecemos a todos os participantes pela excelente cooperação. Este estudo foi apoiado pelas concessões do Fundo de Investigação Médica do Hospital Universitário de Tampere, e a Fundação de Investigação Ortopédica e de Traumatologia, Finlândia.

Referências Bibliográficas

- Baker J, Ramsbottom R, Hazeldine R, Maximal shuttle running over 40 m as a measure of anaerobic performance. *Br J Sports Med* (1993); 27: 228–232.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV, A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* (1983); 50: 273–282.
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O, Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* (1999a); 79: 306–311.
- Bosco C, Colli R, Introini E et al., Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* (1999b); 19: 183–187.
- De Gail P, Lance J, Neilson P, Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *J Neurol Neurosurg Psych* (1966); 29: 1–11.
- Dowling J, The use of electromyography for the noninvasive prediction of muscle forces. *Sports Med* (1997); 24: 82–96.
- Eklund G, Position sense and state of contraction; the effects of vibration. *J Neurol Neurosurg Psych* (1972); 35: 606–611.
- Falempin M, IN-Albon S, Influence of brief daily tendon vibration on rat soleus muscle in non-weight-bearing situation. *J Appl Physiol* (1999); 87: 3–9.
- Flieger J, Karachalios T, Khaldi L, Raptou P, Lyritys G, Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif Tissue Int* (1998); 63: 510–514.
- Hagbarth K, The effect of muscle vibration in normal man and in patients with motor disease. In: *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology* (1973); (ed. Desmedt, J), pp. 428–443. Karger, Basel.
- Hagbarth K, Eklund G, Motor effects of vibratory stimuli. In: *Muscular Afferents and Motor Control. Proceedings of First Symposium* (1985); (ed. Granit, R). Almqvist and Wiksell, Stockholm.
- Heinonen A, Sievänen H, Viitasalo J, Pasanen M, Oja P, Vuori I, Reproducibility of computer measurement of maximal isometric strength and electromyography in sedentary middle-aged women. *Eur J Appl Physiol* (1994); 68: 310–314.
- Jurell K, Surface EMG and fatigue. *Phys Med Rehab Clin North Am* (1998); 9: 933–947.
- Martin B, Park H, Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur J Appl Occup Physiol* (1997); 75: 504–511.
- Millgrom C, Finestone A, Ekenman I et al., Tibial strain rate increases following muscular fatigue in both men and women. *Trans. ORS* (1999); 24: (Abstract), 234.
- Nelson M, Fiatarone M, Morganti C, Trice I, Greenberg W, Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. *JAMA* (1994); 28: 1909–1914.
- Petrofsky J, Glaser R, Phillips C, Evaluation of the amplitude and frequency components of the surface EMG as an index of muscle fatigue. *Ergonomics* (1982); 25: 213–223.
- Rittweger J, Beller G, Felsenberg D, Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* (2000); 20: 134–142.

- Rubin C, McLeod K, Promotion of bony ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain. *Clin Orthop* (1994); 298: 165—174.
- Rubin C, Li C, Sun Y, Fritton C, McLeod K, Non-invasive stimulation of trabecular bone formation via low magnitude, high frequency strain. *Trans ORS* (1995); 20: 548.
- Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McLeod K, Prevention of bone loss in a post-menopausal population by low-level biomechanical intervention. *Bone* (1998); 23 (Suppl.): S174 (Abstract).
- Rubin C, Xu G, Judex S, The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J* (2001a); 15: 2225—2229.
- Rubin C, Turner S, Bain S, Mallinckrodt C, McLeod K, Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* (2001b); 412: 603—604.
- Schmitz R, Arnold B, Intertester and intratester reliability of a dynamic balance protocol using the Biodex Stability System. *J Sport Rehabil* (1998); 7: 95—101.
- Seidel H, Myoelectrical reactions to ultra-low frequency and low-frequency whole body vibration. *Eur J Appl Physiol* (1988); 57: 558—562.
- Viitasalo J, Komi P, Signal characteristics of EMG during fatigue. *Eur J Appl Physiol* (1977); 37: 111—121.
- Yoshikawa T, Mori S, Santiesteban A et al., The effects of muscle fatigue on bone strain. *J Exp Biol* (1994); 188: 217—233.